

ISSN. 2465-8456



10

2021 October | Vol. 7

융합연구리뷰

Convergence Research Review

건설 장비의 스마트 기술 트렌드 및 스마트 건설의 미래

김동목(현대두산인프라코어(주) 부장)

홍희승(현대두산인프라코어(주) 책임연구원)

건설 분야에서의 센서융합 3차원 고정밀지도 제작 기술 소개

김태훈(공간정보품질관리원 책임연구원)

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 건설 장비의 스마트 기술 트렌드 및 스마트 건설의 미래
- 35 건설 분야에서의 센서융합 3차원 고정밀지도 제작 기술 소개



융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2021 October vol.7 no.10

발행일 2021년 10월 11일

발행인 김현우

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 디사플래닝 Tel. 02-6315-4600



건설 장비의 스마트 기술 트렌드 및 스마트 건설의 미래

2019년 11월 20일 연합뉴스에 따르면, 충남 보령에 위치한 건설기계 성능시험장에서 굴착기와 휠로더 등 건설기계장비들이 상황별로 무인 작업을 하는 모습이 공개되었다. 이 건설장비들은 드론을 통한 3D 스캐닝으로 작업장의 지형을 측량하고, 측량한 지형 데이터를 스스로 분석하여 작업계획을 수립한 뒤 작업을 하였다. 이 날 현대두산인프라코어에서 선보인 측량부터 건설기계장비 운용까지의 전 과정 무인·자동화 기술은 건설장비에 ICT 기술 등의 4차 산업혁명 기술들이 융합된 결과이다.

ICT 기술을 적용한 스마트 건설기계장비들은 건설현장의 열악한 환경, 숙련된 작업 인력 부족 문제 등을 해결하기 위한 수단으로 각광받고 있다. 세계 건설기계 시장에서는 유무선 장비제어, 장비이용 데이터 추적, 장비 간 원격 네트워킹 등 IoT/ICT 기술을 접목한 스마트 건설기계들이 이미 중심을 이루고 있으며 시장 규모는 연평균 6.4% 성장하여 2022년에는 약 2,834억 달러에 이를 것으로 전망된다. 또한 영국, 일본, 싱가포르 등의 국가에서는 전통적인 건설기술에 드론, 빅데이터, IoT 등을 융합한 기술인 스마트 건설기술 육성 정책을 추진하고 있다.

건설현장에 스마트 건설장비의 도입으로 작업에 소요되는 시간 및 비용은 절감하고 생산성, 경제성은 높이는 동시에 건설현장에서의 안전성 문제를 개선할 수 있을 것으로 전망된다. 본 호 1부에서는 스마트 건설장비 기술 현황, 스마트 건설을 위해 일본에서 추진하고 있는 i-Construction 사업과 우리나라 현대두산인프라코어가 추진 중인 Concept-X 프로젝트에서의 기술을 소개한다.

건설 분야에서의 센서융합 3차원 고정밀지도 제작 기술 소개

경기도는 2009년, 1975년부터 2009년까지 2Km 상공에서 촬영한 항공사진 9만 7천여 장과 5천 700여 장의 지도를 기초로 지역정보 시스템을 개발하였다. 단순한 일반 지도와 다르게 사진을 확대하면 도 구석구석을 3D 입체사진으로 자세히 볼 수 있어 공무원들은 이 시스템을 통해 행정구역의 정보를 파악했고 과거와 현재 사진을 비교하며 곳곳에서 진행 중인 불법 개발 및 불법 건축 행위 등을 찾아내는 용도로 활용하였다. 컴퓨팅 기술의 발전으로 건설현장의 지형지물과 구조물 등을 실제 크기와 똑같이 3D로 구현한 3차원 고정밀지도 제작이 가능해지면서 건설 분야에서 지적 및 건설 측량, 정밀한 건물 공사 등에 이를 활용하고 있다.

3D 고정밀지도는 항공 및 지상 장비로 취득한 디지털 사진을 수치해석에 의해 처리한 입체모델을 활용하여 건물 외형 자료를 결합하여 구축한 3D 입체지도를 의미한다. 본 호 2부에서는 건물 형상 외관의 이미지 자료와 위치정보 수집을 위한 플랫폼 및 융합센서 기술, 건물의 입체 도화를 위한 모델링, 가시화 및 객체모델 구축 기술 등 3D 고정밀지도 제작 기술들을 소개한다. 또한, 건설 분야에서 3D 고정밀지도가 어떻게 활용되는지에 대해서도 알아본다.

3D 고정밀지도는 건설 분야 외에도 자동차의 자율주행 시스템 구축, AR 콘텐츠 개발, 게임 영상 제작 등에도 활용이 가능하다. 미국 시장조사기관 마켓앤마켓(Markets and Markets)은 세계 디지털 지도 시장 규모가 2023년에 294억 달러(약 33조 원)에 이를 것으로 전망하고 있다. 우리나라 국토교통부는 올해 한국판 뉴딜의 핵심사업인 디지털 트윈 사업의 일환으로 정밀도로지도, 3D 지형지도 등 고정밀 공간정보 생산에 750억 원을 투자한다. 이러한 정부 지원으로 다양한 산업의 기반을 지원하는 3D 고정밀지도 산업을 이끌 수 있기를 기대한다.

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 October vol.7 no.10



01

건설 장비의 스마트 기술 트렌드 및 스마트 건설의 미래

김동목(현대두산인프라코어(주) 부장)
홍희승(현대두산인프라코어(주) 책임연구원)

I 서론

1. 스마트 건설 장비 기술 트렌드 현황

오늘날 건설현장은 고령화로 인하여 숙련된 작업자의 부족 현상이 갈수록 심화되고 있다. 또한, 해저나 지하 공간 등의 극한환경(Extreme Environment)에서의 자원 확보와 새로운 생활공간 창출을 위한 토공 작업이 필요함에 따라 안전성 확보의 필요성도 증대되고 있다. 이러한 니즈를 만족하기 위해 건설 장비 및 건설/토목 현장에는 무인화/자동화 기술이 많이 적용되고 있으며, 자동화 요소 기술은 자동차 및 로봇틱스 등 인접 산업 관련 기술의 발전과 함께 최근 큰 진전을 보이고 있다.

이런 흐름은, MG(Machine Guidance)와 MC(Machine Control)와 같은 건설장비의 운전 조작 지원 시스템이 단계적으로 상용화되어 실제 사용 비율이 늘어나는 형태로 관찰되고 있다. 해당 기술은 여러 장비 제조업체(OEM, Original Equipment Manufacturer)와 전문 측량 업체들이 개발하여 출시하고 있다. 작업 지원 혹은 운전자 보조 기능들은 목표 도면 정보를 장비의 보조 기능 시스템에 입력한 뒤 작업자가 작업을 수행하는 것을 전제로 구현되기 때문에 현재까지는 제한적인 반자동 기능 수준에 머무르고 있으나, 기존의 건설 현장에서 관행적으로 진행되던 작업 방식에 비해서는 이미 현장의 정확도와 효율성을 높여 주고 있다.

현재까지 건설 시장에 출시된 건설장비의 제한적인 반자동 및 모니터링 수준의 스마트 기능 이외에도, 장비 제조업체들에서는 더 높은 수준의 자율제어 단계의 무인화/자동화 건설장비 기술과 제품이 개발되고 있다. 현재 개발 중인 더 높은 자율제어 수준의 스마트 기술도 현장에 적용되기까지 오래 걸리지 않을 것이라 예상되므로 함께 소개하고자 한다. 건설 현장보다 외부 환경으로부터의 통제가 쉬운 대규모 광산 현장을 중심으로는 이미 10여 년 전부터 전 세계적으로 무인화 장비도 실제 현장에 많이 적용되고 있기 때문이다.

2. 스마트 건설의 선진 사례 및 무인화 장비 기반 미래

스마트 건설의 요소 기술 발전과 인접 산업으로부터의 확대·적용 속도에 비해, 건설 현장에서의 관련 기술 적용 및 확산 속도는 타 산업에 비해 느리다. 스마트 건설장비 및 스마트 건설 기술의 가장 선도국인 일본에서도

ICT 굴착기의 비율은 약 5% 내외에 머물고 있는 실정이다(일본 국토교통성, 2020). 최신 스마트 기술의 건설현장 적용 가속화를 위해서는 기술의 발전과 함께, 해당 기술과 솔루션이 자연스럽게 적용될 수 있는 건설현장의 환경도 함께 조성되어야 하나, 보수적인 건설 산업의 특성으로 인해 현장의 시각 변화를 위한 노력이 많이 필요하다. 일본 정부는 건설 산업의 생산성 향상을 가장 중요한 목표로 인식하고, 이를 달성하기 위한 방안으로 ICT 토공 생태계 구축 프로젝트인 i-Construction을 선제적으로 전개, 민간기업과 함께 컨소시엄을 구성하여 수년 간 추진해 온 결과, 유의미한 성과를 거두고 있다.

융합연구리뷰에서는 i-Construction의 추진 배경, 과정 및 결과까지 자세히 알아보고, 이를 통해 현재의 스마트 건설 기술이 국내에서 잘 정착할 수 있는 방향을 진단해 본다. 스마트 건설장비 기술 현황과 선진국 사례를 통해 당장 해야 할 과제들을 알아본 뒤에는, 스마트 건설 기술의 다음 단계가 될 무인화 장비 기반의 스마트 건설 기술에 대해 알아보고자 한다. 이를 위해, 융합연구리뷰에서는 현대두산인프라코어가 기술 개발을 추진했던 Concept-X 프로젝트 중심으로, 건설장비 무인화/자동화 및 스마트 건설 기술의 선제적 개발 현황에 대해 좀 더 구체적인 내용으로 설명한다. Concept-X는 건설 현장의 측량부터 건설장비 운용까지 건설 현장의 모든 작업을 자동화하고 무인화 하는 프로젝트로, 2019년 말까지 실시간 시연이 가능한 기술과 전체 시스템을 개발하여 2019년 11월 20일에 현대두산인프라코어 보령 시험장에서 시연하였다(그림 1). 융합연구리뷰에서는, 스마트 건설장비의 요소 기술과 종합 솔루션 관점에서의 세부 사항을 무인 굴착기 시스템 중심으로 설명한다.

그림 1. Concept-X 시연 모습



* 출처 : 박민철 외(2020)

II 스마트 건설장비 기술 현황

근래에는 건설장비 종류별로 정보화 시공 및 자동화/반자동화 기술 도입이 많이 이루어지고 있다. 일반 소비자 대상으로 한 자동차 분야와 달리, 생산재 산업 성격이 강한 건설장비 분야에서 정보화 시공과 자동화 기술 상품은 고객에게 투자 대비 재무적인 효과를 가져다준다는 것이 현장에서 증명되고 있다고 볼 수 있다. 실제 현장의 개선 효과는 몇 가지로 정리될 수 있다. 첫째, 평탄화 작업처럼 높은 정밀도가 요구되는 작업의 시간을 줄여서 공사 기간을 줄여준다. 둘째, 무인 장비를 현장에 투입함으로써 운전자 인건비를 줄여준다. 셋째, 운전자 및 작업자의 작업 집중도 저하로 발생할 수 있는 사고의 가능성을 줄여 안전 비용을 줄이는 효과가 있다.

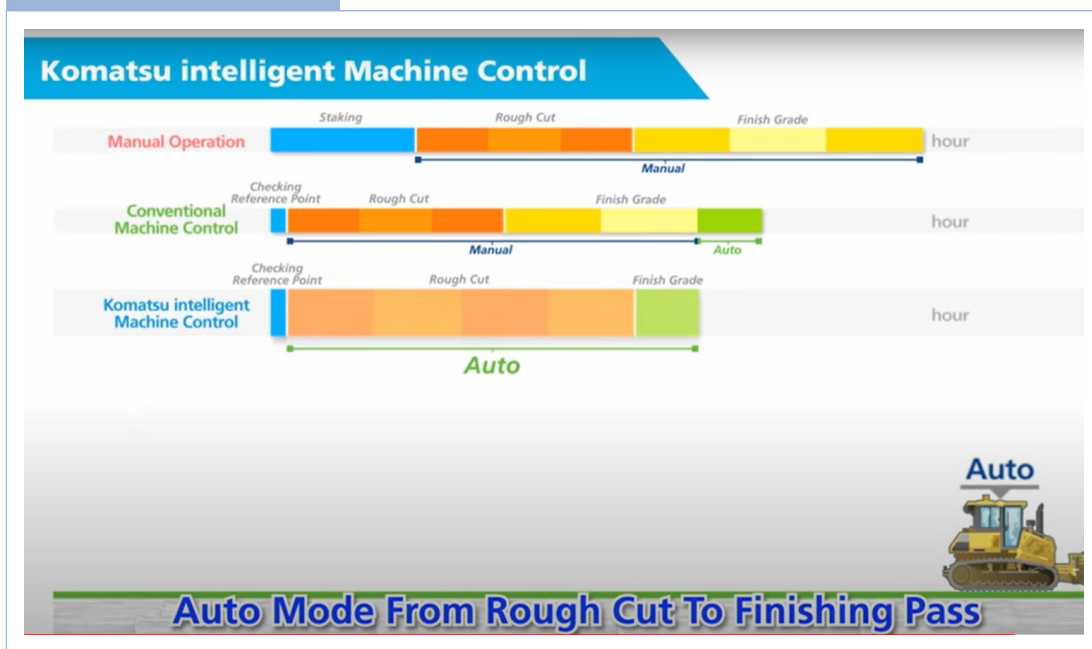
장비의 종류에 따라 다른 작업이 이루어지기 때문에 적용되는 자동화 기술의 유형도 조금 다른데, 도저나 모터 그레이더와 같이 작업 형태가 단순한 평탄화를 위한 전용 장비에는 평탄 작업을 위한 자동 기능이 적용되었고 외부로부터 고립되고 현장에 대한 통제가 필요한 장소에서 비슷한 경로를 계속 왕복하는 광산용 트럭에는 완전 무인화가 도입되었다. 더 많은 자유도를 가진 굴착기의 경우, 높은 수준의 자율 작업 기능까지는 아직 현장에 적용되지 못했지만 최근에 작업자를 돕는 반자동(Assist) 기능이 도입되기 시작했다. 다양한 장비 종류 별 스마트 및 자동화 기술의 적용 현황을 자세히 알아보자.

1. 도저와 모터 그레이더

굴착기보다 작업이 단순하고 반복적인 도저와 모터 그레이더에는 자동화 기능이 좀 더 빨리 적용되었다. 이 장비들은 땅을 고르는 것이 가장 중요하기 때문에, 자동/반자동 기능은 땅의 지형과 상태에 따라 변하는 도저 블레이드의 삽날 높이를 최대한 빠르게 제어하여 평탄화 작업이 자동으로 이루어지도록 한다. 그래서 초보자 및 비숙련자들도 숙련자 수준의 정밀도와 작업 생산성(속도)을 낼 수 있게 해준다. 굴착기에 사용된 센서와 같은 종류의 위치/각도 센서를 장착함으로써 굴착기 자체가 자동 작업 기능도 가질 뿐만 아니라 작업 전 지역에 대해서 작업이 완료된 지역과 작업이 남은 지역을 쉽게 파악할 수 있도록 정보를 모아줄 수 있다.

요즘에는 대형 도저에 탑재된 자동제어 기능에 원격 제어 기능까지 추가 탑재되는 경우도 있다. 대형 도저는 장비가 크기 때문에 작업자가 캐빈(작업자 탑승 공간) 내부에서의 도저 블레이드와 지면 사이의 평탄화 작업 현황을 정량적으로 정확히 알기 어렵고, 험지 작업 중 전복될 위험도 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해 장비 외부에서 조종할 수 있도록 하는 원격제어 기술과 자동제어 기능이 통합되었다. 원격제어가 자동제어 기능과 함께 적용되면, 원격제어만으로도 정밀한 평탄화 작업이 가능하다.

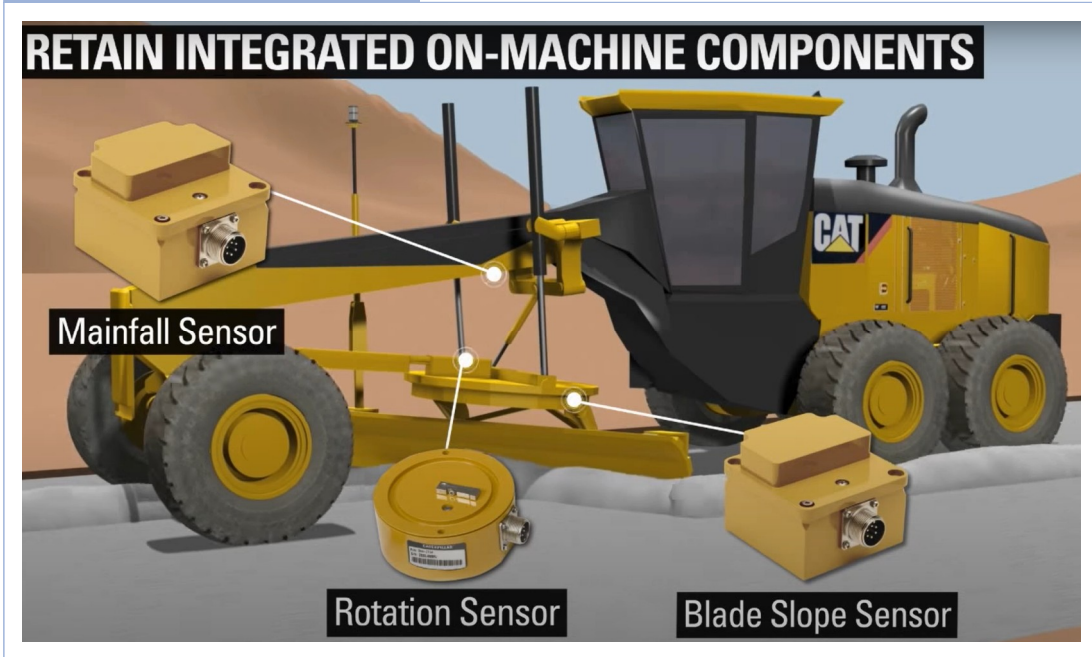
그림 2. 자동제어 도저



* 출처 : 유튜브(2017)

모터 그레이더에도 비슷한 기술이 적용되는데, 도저와 동일하게 비숙련자도 평탄화 작업의 정확도를 향상시키고 생산성(속도)을 높일 수 있도록 보조하는 것이 가장 중요한 목적이다. 기본 기능은 도저와 같지만 평탄화 각도 조절이 훨씬 폭넓게 가능하다는 점에서 평탄화 방식이 조금 다르고, 이를 위한 추가 센서가 탑재되어 있다. <그림 3>과 같이 도저에 비해 블레이드의 제어 자유도가 높은 만큼 장착되는 각도 센서의 장착 위치가 더 많고(Mainfall Sensor, Rotation Sensor, Blade Slope Sensor), 블레이드를 움직일 수 있는 방향이 더 많다.

그림 3. 지능화 모터 그레이더



* 출처 : 유튜브(2017)

2. 굴착기 2D/3D MG(Machine Guidance)

굴착기가 필요한 작업 중에도 고정밀 작업이 필요한 경우가 있는데, 예를 들면 도로 공사와 주택 공사 등에서의 기초 작업 마무리 과정에서의 정밀 작업이다. 수 cm의 정확도로 평면 및 비탈면을 고르거나 수도관 및 파이프 등을 매설하기 위한 트렌칭 및 도랑파기 작업에서 고정밀의 작업 완성도와 이를 위한 작업자의 숙련도를 필요로 한다.

도저나 그레이더와 유사하게, 굴착기 버킷 끝의 정확한 위치를 계산하기 위해 굴착기 팔(작업부)에 자세 측정을 위한 각도 센서와, 굴착기 몸체 위치와 방위각을 정밀하고 정확하게 측정할 수 있는 고정밀 위성항법시스템 (GNSS, Global Navigation Satellite System)을 장착해서 굴착기 위치와 자세를 실시간으로 측정하고 계산한다. 계산한 결과는 캐빈 안에서 디스플레이 장치를 통해 작업자가 직접 정량적으로, 시각적으로 확인하면서 정밀 작업을 빠르게 할 수 있게 해준다.

굴착기의 MG 시스템은 도저 및 모터 그레이더와 달리 2D와 3D로 다시 나뉘는데, 이는 도저와 모터 그레이더가 주행 작업들을 주로 하는 것과 다르게, 굴착기는 대부분의 작업이 주행 후 한 곳에 정지해서 선회와 작업기(프런트부)의 붐(Boom), 암(Arm), 버켓(Bucket) 동작을 이용하여 진행되기 때문이다. 주행 위주로 작업이 진행되는 장비는 정확한 위치를 실시간으로 측정하는 것이 가장 먼저 필요하고, 이를 위해 고가의 고정밀 측위(RTK, Real Time Kinematic) GNSS 시스템을 기본적으로 장착하는 3D MG 시스템이 필수적이다. 하지만 세부 토공 작업과 주행 이동 작업이 대체로 분리되는 굴착기의 경우, 고가의 고정밀 GNSS 시스템에 비해 저가인 관성 측정 장비(IMU, Inertial Measurement Unit) 센서 기반 2D MG 시스템의 상품성이 시장에서 인정을 받고 있다. 비싼 GNSS 없이 저가의 IMU 센서 장착만으로도 현장에서의 작업 정확도 및 생산성 증대 효과를 기대할 수 있기 때문이다.

〈그림 4〉는 작업 현장에서 제공되는 목표 도면 정보와 굴착기의 센서 시스템이 완전히 제공되는 3D MG 시스템을 사용하여 작업하는 장면이다.

그림 4. 고마쓰 3D Machine Guidance



* 출처 : Shimano 외(2014)

〈그림 5〉는 고가의 GNSS 시스템 부품을 제외한 IMU 센서 부품으로만 구성된 2D MG 시스템에 대한 사용법을 설명하는 유튜브 동영상의 캡처 화면이다. GNSS 시스템 부품이 없으므로 각 영역별 작업이 끝난 뒤 주행을 하면 장비의 상대 위치를 추정할 수 있도록 기준점(영점)과 공통점 지정을 통한 주행 좌표계 이동이 가능한 기능이 추가되어 있다.

그림 5. 현대두산인프라코어 2D Machine Guidance

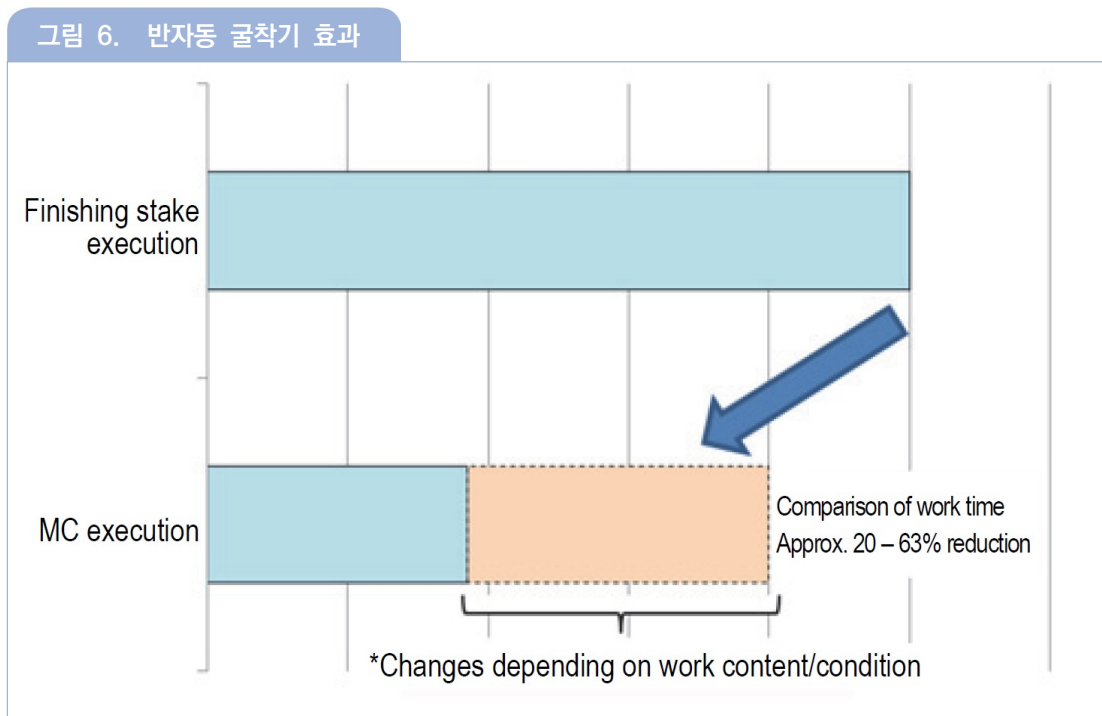


* 출처 : 유튜브(2018)

3. 반자동(Assist)

앞서 설명한 MG 시스템도 작업부의 현재 위치와 정확도만 보여주기 때문에, 초보자의 평탄화 작업에는 도움이 되지 않는다. 그래서 굴착기 작업부와 버킷 끝단의 현재 위치를 실시간으로 작업자에게 표시해주는 MG 시스템 개발 이후, 초보자도 굴착기 평탄화 작업을 쉽게 할 수 있는 반자동 기능이 출시되기 시작했다. 기존의 굴착기 평탄화 작업은 2개의 조이스틱으로 붐-암-버킷의 3자유도 움직임을 적절히 조합해서 능숙하게 제어할 수 있는 숙련도가 필수적인데, 반자동 굴착기는 1개의 조이스틱으로 1가지 방향의 조작만으로 작업부 굴착기의 암 유압실린더를 제어하면, 목표면에 맞춰 나머지 붐이나 버킷 실린더가 자동으로 제어가 되며,

이때의 평탄화 목표면의 위치와 기울기는 굴착기 작업자가 미리 세팅할 수 있다. 또는 굴착기가 더 깊게 파면 안 되는 지형의 목표면을 지정한 뒤 과도한 굴착을 막아주는 보조 기능도 추가된 경우가 있다. 반자동 굴착기는 여러 센서와 전자제어 장치가 필요한데, 이를 위해 고객은 일반 굴착기보다 조금 더 많은 구매비용을 투자한다. 고객의 투자 대비 이익(효과)은 아래 <그림 6>과 같이, 현장에서의 빈번한 측량 작업이 줄고 작업이 빠르게 진행되어 공사 기간이 짧아진다. 또한 측량사의 작업 비용(인건비)이 줄어드는 효과도 있다.



* 출처 : Shimano 외(2014)

III 스마트 건설 추진 방향 :

일본 i-Construction 사례

지금까지 건설장비의 스마트화 기능 중심으로 스마트 건설 현장에 투입될 요소 기술에 대해 알아보았다. 이번 장에서는 선진국의 스마트 건설 사례를 살펴보고 국내에서 요소 기술 개발 및 상품화 다음으로 준비할 것이 무엇인지 알아보려고 한다.

i-Construction은 건설업에 ICT기술의 도입 가속화를 위해 일본 국토교통성(国土交通省)이 추진하는 프로젝트이다. 건설업의 문제점인 타 산업 대비 낮은 생산성과 앞으로 예상되는 건설인력 부족 문제를 해결하기 위한 목적으로 추진하는 프로젝트로, 생산성을 혁신적으로 향상시켜 건설 산업의 생산성을 높임과 동시에 해당 산업 분야를 장래성이 높은 산업 분야로 만드는 것이 목표이다. 이를 위해 민간기업과 연계하는 컨소시엄을 구성했고, 전문인력을 육성하고 기술을 매칭하며 관련 법규를 정비하는 등의 다각적 방향으로 건설 산업의 ICT화를 추진하고 있으며, 국토교통성은 보고서 등을 통해 그 성과를 단계적으로 제시하고 있다. 아래 내용에서는 i-Construction 프로젝트의 구체적인 추진 배경과 과정을 정리하고, 지금까지의 프로젝트에서 달성한 효과를 정량적이고 구체적으로 살펴본다.

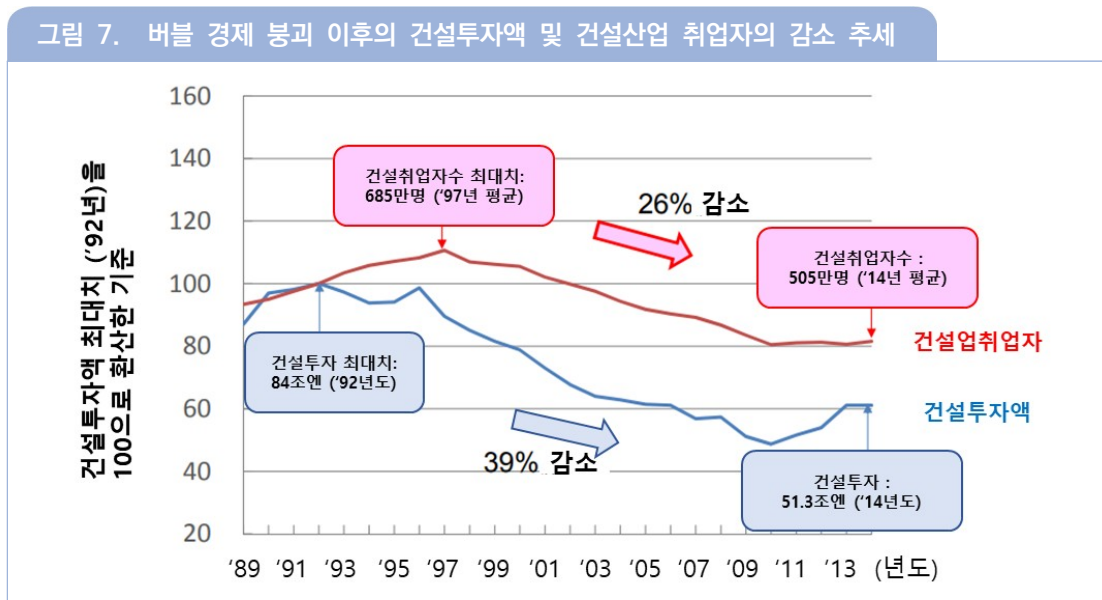
1. 추진 배경 : 일본 건설현장이 갖는 문제에 대한 인식

일본 국토교통성에서는 현재 일본의 건설 산업이 갖고 있는 문제점들을 아래와 같이 파악하였으며, 그 대응 방안을 모색하였다.

1.1. 건설 노동력 과잉으로 인한 생산성 저하

일본 버블경제가 붕괴된 이후, 일본 경제 전반의 투자 감소 추세는 건설업에서도 동일하게 나타나는 현상이었다. 건설 투자는 버블경제 이전 최대치 대비 39%까지 감소한 상황이었으나, 건설 산업의 취업자 수의 감소는

최대치 대비 26%까지만 감소하였다(일본 국토교통성, 2015). 투자 감소 비율에 비해 취업자 수 감소 비율이 낮은 이유는 건설 산업의 노동력 과잉 상태가 지속적이고 장기간 유지되었기 때문으로, 이는 건설현장의 생산성을 향상하고자 하는 시장의 요구를 현재까지도 충족시키지 못하는 주된 원인이 되고 있다.

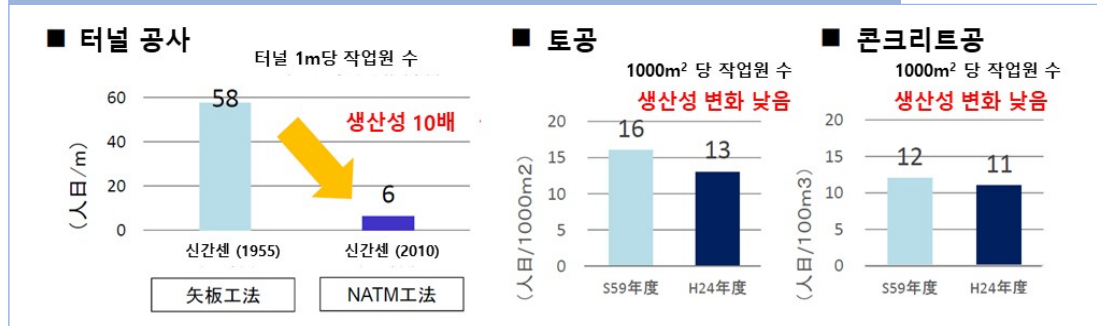


* 출처 : 일본 국토교통성(2015) I-Construction 자료

1.2. 건설 산업의 느린 생산성 향상 속도

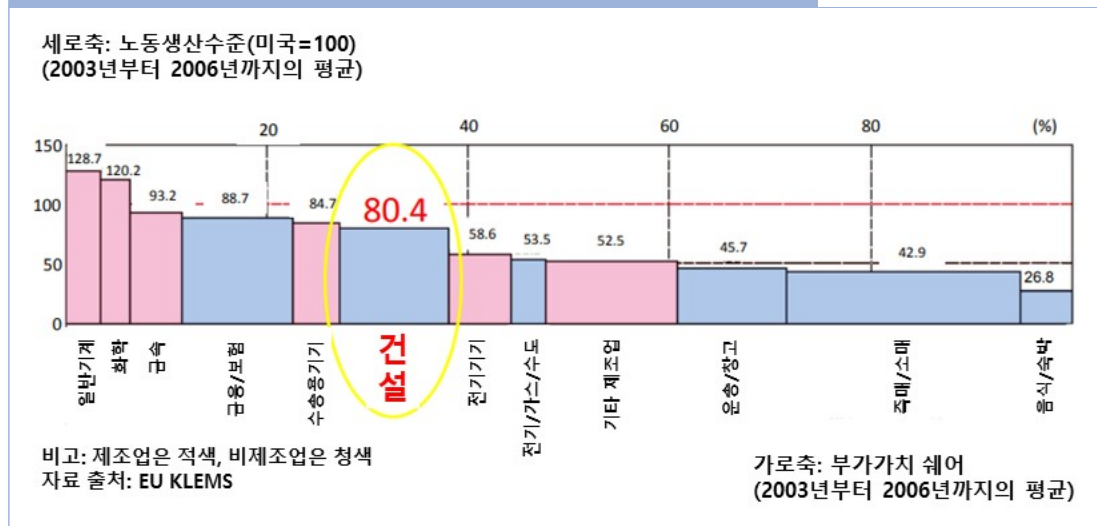
터널 공사의 경우 지난 50년간 공법의 발달로 터널 1m 당 필요한 작업자 수가 58명(1955년 신간센 터널 공사 기준)에서 6명(2010년 신간센 터널 공사 기준)으로 크게 줄어 생산성이 약 10배 증가하였다. 반면 일반 토공이나 콘크리트 시공은 약 30년간 단위 작업 대비 필요한 작업자 수 감소세는 미진한 상황이다(일본 건설연합회, 2010). 특히 정부 발주 공사의 경우 기계토공 및 포장공사와 콘크리트 공사가 약 40%를 차지하고 있으며, 해당 공사들이 측량작업, 철근 또는 거푸집 작업 등 여전히 사람의 손이 필요한 작업들이 많이 포함되어 있다는 점에서 미국 대비 건설현장 생산성이 80%에 불과한 점을 고려하면, 일본 건설현장의 생산성 향상의 여지가 크다고 판단하고 있다(일본 국토교통성, 2015).

그림 8. 상대적으로 생산성 향상이 미비한 일반 토공 및 콘크리트공 현장



* 출처 : 일본 국토교통성(2015) I-Construction 자료

그림 9. 미국 대비 일본의 산업 별 생산성 비교(2003년~2006년)



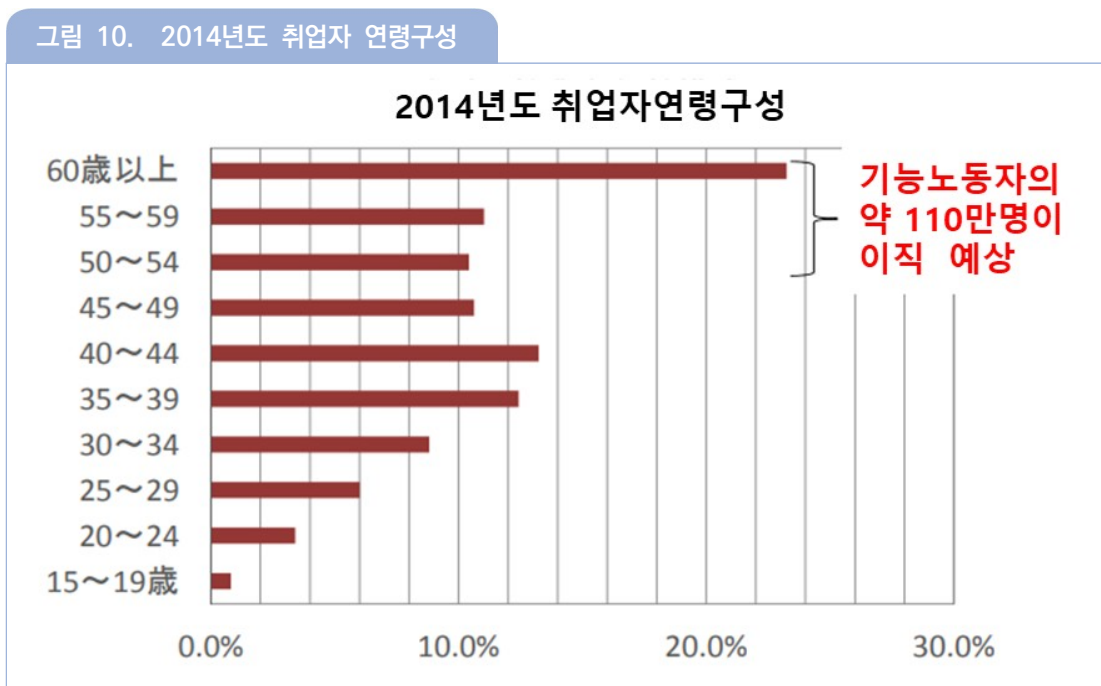
* 출처 : 일본 경제산업성 통상백서(2013)

1.3. 건설현장의 높은 산업재해 발생률

일본의 건설 산업 사고율은 전체 산업의 평균 사고율 대비 2배 정도로 높다. 이 수치는 연간 근로자의 약 0.5% 수준으로(2014년 기준), 이 중 건설장비와 관련된 사고(전도, 깔림, 접촉, 충돌 등)의 비율은 약 15%로, 추락사고(24.7%) 다음으로 큰 비중을 차지하며 사망률도 높기 때문에 건설 현장의 안전성을 높이기 위해 더 적극적인 대책을 집중적으로 마련할 필요가 있다(일본 국토교통성, 2015).

1.4. 미래 건설 산업의 인력부족 예상

건설 산업의 기능노동자는 2014년도 기준 340만 명이고, 이 중 50세 이상이 153만 명으로 높은 비율(전체의 44.4%)을 차지한다. 2025년도 즈음에는 이들 중 70%인 약 109만 명이 건설업계를 떠날 것으로 예상하고 있다. 반면 젊은 층의 구성비와 신규 취업자 비율은 상대적으로 낮은 편으로, 29세 이하는 전체의 약 10% 남짓에 불과하여 장기적으로 기능 인력의 부족을 예상하고 있다(일본 건설연합회, 2015).



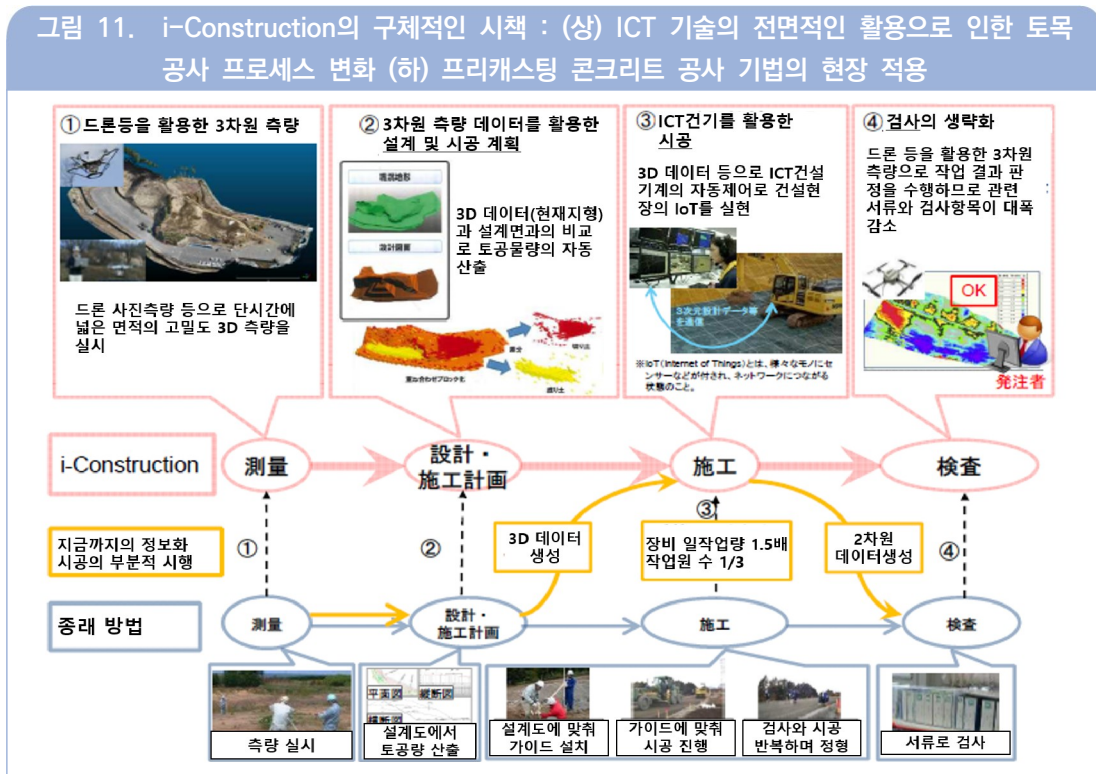
* 출처 : 일본 국토교통성(2015) I-Construction 자료

위에서 설명한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로, 국토교통성은 ICT 기술을 활용하여 현장 조사 및 측량부터 설계, 시공 및 유지 관리까지의 모든 건설 프로세스 및 현장의 생산성을 높이기 위한 'i-Construction' 프로젝트를 추진하기로 결정했다. i-Construction 프로젝트의 추진으로 건설 현장에서의 개인 별 생산성이 향상되어 기업의 경영환경까지도 개선되고, 건설 현장에서 종사하는 사람의 개별 임금 수준과 현장 작업의 안전성까지 동시에 향상될 것으로 기대되고 있다.

2. i-Construction 사업의 추진

2.1. i-Construction 위원회 구성 및 활동

2015년 12월, i-Construction 위원회가 조직되어 활동을 시작했다. 위원회의 발족 및 활동 취지는, 가까운 미래에 인구 감소가 예상되는 시점을 기회로 삼아 건설 산업의 전체 프로세스에 대한 생산성을 향상시켜 건설 산업을 매력적인 산업으로 바꾸는 것이었다. 위원회는 4번의 활동을 통해, ICT 기술이 인접 산업 전반에까지 확산되는 현시점이 건설 산업의 생산성도 향상시키기에 최적기임을 확인하였다. 또한 건설 산업의 생산성 향상을 장기 목표로 설정하고 이를 달성하기 위해, 첫째 건설현장의 안전성을 향상시키고, 둘째 건설 현장에 신기술을 성공적으로 도입하기 위해 현장에서 유연하게 대응하고, 셋째 해외로의 확대 적용을 위한 국제표준화 까지 고려한 집중적인 추진이 필요함을 강조하였다. 구체적인 추진 방안으로는, ICT 토공 기술의 전면적인 도입과 프리캐스팅 콘크리트 구조물을 활용한 콘크리트공사 기법을 반영하여 전체 건설 프로세스를 최적화하고, 이를 통해 효율적인 자원 활용을 위한 공사 기간의 평준화를 추진 방안으로 도출하고 제시하였다.

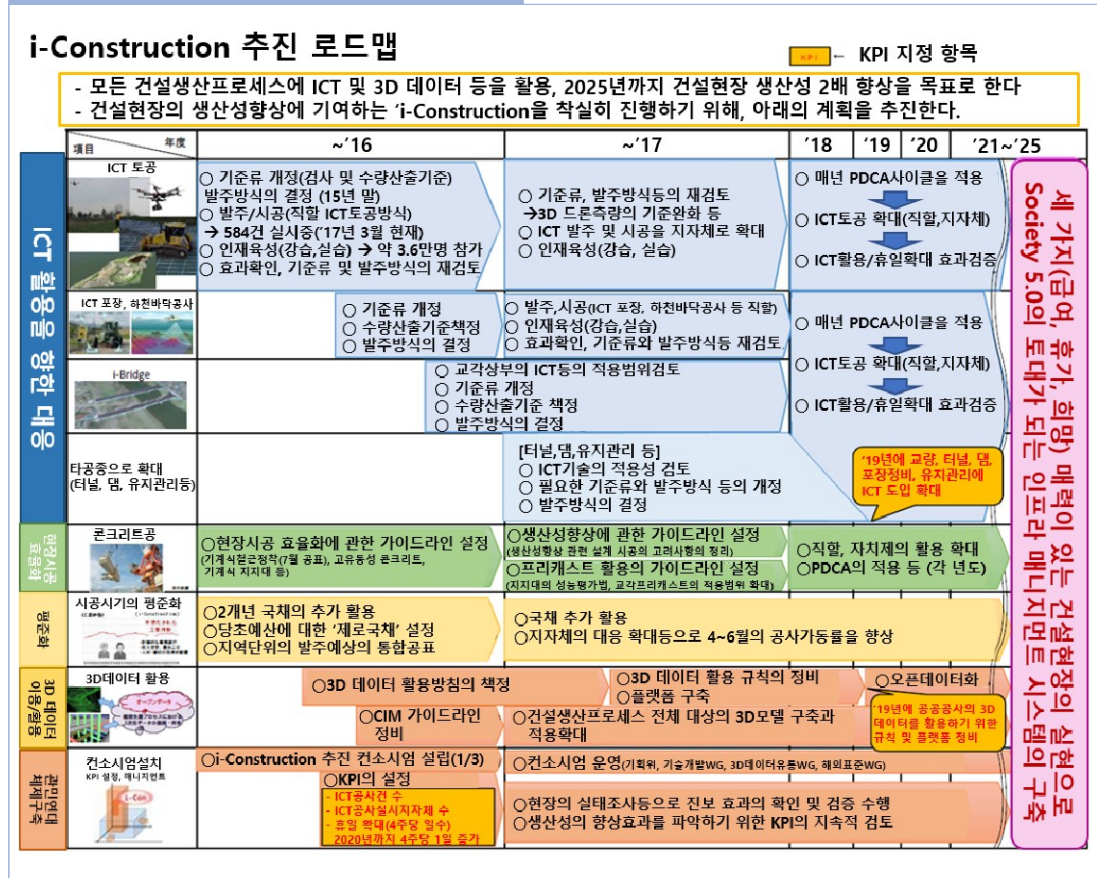




* 출처 : 일본 국토교통성(2016) I-Construction 자료

i-Construction 위원회는 2016년 4월에 위원회 활동 보고서를 국토교통성에 제출하는 것으로 활동을 마무리했다. 국토교통성은 위원회 활동 보고서와 i-Construction 추진 로드맵을 추후 공개하며, 2016년을 '생산성 혁명 원년'으로 설정하고, 건설 현장의 생산성을 끌어올리는데 총력을 기울일 것을 선포하였다.

그림 12. i-Construction 추진 로드맵



* 출처 : 일본 국토교통성(2016) i-Construction 자료

2.2. i-Construction 컨소시엄 구성 및 활동

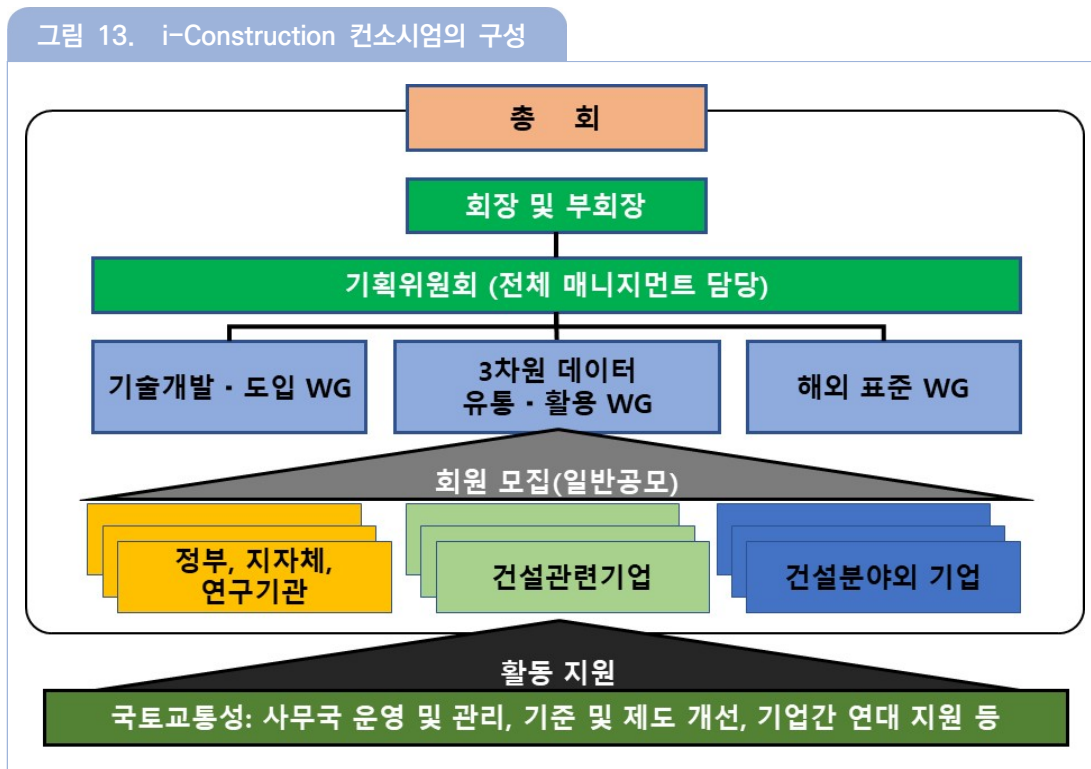
2.2.1. 컨소시엄 구성

i-Construction 위원회가 활동을 마치고, 국토교통성은 i-Construction 컨소시엄을 구성하여 컨소시엄을 기반으로 본격적인 i-Construction 사업을 추진하였다. 컨소시엄은 전체 프로젝트 관리를 담당하는 기획위원회 아래 세 분야의 WG(Work Group)으로 나누어 분야 별 활동을 수행하였다.

기술개발·도입 WG는 최신 기술의 현장 도입을 위한 신기술 개발 및 보급 확대를 추진하고, 동시에 기업 간 연대를 활성화하기 위한 수요와 공급의 매칭 역할을 수행하였다. 또한, 제도 기준에 대한 이슈를 정리하는

것도 기술개발·도입 WG의 역할이었다. 3차원 데이터 유통·활용 WG는 3차원 데이터 유통을 위한 데이터 표준 및 오픈데이터화를 추진하고, seamless 3차원 데이터 활용 환경을 정비하여 이에 연계한 신규 사업 기회를 창출(행정 서비스, 일반 대상 지도 서비스, SCM(Supply Chain Management) 도입 및 IOT 기술 기반 현장 관리 등)하는 것을 목표로 활동하였다. 마지막으로 해외 표준 WG는 i-Construction의 해외 시장 확대 적용을 준비하는 분과로, 관련 기준의 국제표준화 동향 파악과 i-Construction 과정에서 취득한 ICT 기술 및 관리 시스템 등에 대한 상품 패키지화를 검토하는 역할을 수행하였다.

컨소시엄은 그 외에도 일반회원을 대상으로 공모를 통해 정부기관, 연구기관, 건설 관련 기업 및 건설 분야 외 기업 등도 다양한 구성원으로서 자유롭게 원하는 WG에 참여하고 활동할 수 있도록 지원하였다. 국토교통성은 컨소시엄 운영을 지원하는 역할을 맡았으며, i-Construction 사무국 운영, 관련 기준 및 제도 개선, 기업 간 연대 환경을 제공하는 등의 역할도 수행하였다.



* 출처 : 일본 국토교통성(2016) I-Construction 자료

2.2.2. 컨소시엄의 착수 및 기획위원회 활동

i-Construction 컨소시엄은 9개월의 준비기간을 걸쳐, 2017년 1월 i-Construction 컨소시엄 설립총회를 시작으로 활동을 시작하였다. 컨소시엄은 수개월 간격으로 기획위원회를 개최하여 다양한 관점으로 제시된 의견과 안전에 대응한 추진 사항을 공유하고, 후속 대응 방향을 지속적으로 재설정하는 방향으로 업무를 수행하였다. 각 WG은 개별 활동을 수행하고 수개월 간격으로 열리는 기획위원회에서 활동 현황을 공유하는 방식으로 기획위원회 활동과 동시에 진행되었다. i-Construction 프로젝트는 컨소시엄 및 기획위원회 활동을 통해 지속적으로 모멘텀을 유지하며 추진되고 있다.

3. i-Construction 추진 성과

2015년부터 지금까지 수행된 i-Construction 활동 및 국토교통성의 연계 활동에 따른 주요 추진 결과는 다음과 같이 정리된다.

3.1. ICT 시공 사례 확대

중앙 정부에서 담당하는 직할 공사의 경우, ICT 시공의 대상 공종을 매년 확대하고, 일정 규모 이상의 공사는 ICT 시공을 포함할 때 가산점을 주도록 규정을 변경하였다. 민간 기업은 ICT 기술을 도입한 결과, 2019년까지 공고 건수의 약 80% 수준까지 직할 공사 중 ICT 시공의 실시 건수를 끌어올렸으며, 지자체(시/도/현 단위)에서 추진한 공사도 2019년도에는 총 3,970건 중 1,136건(약 29%) 수준으로 지속적인 증가세가 확인되었다. 한편 ICT 시공 경험 업체도 초기 대비 3.5배(1,450개)로 대폭 늘었다(일본 국토교통성, 2020).

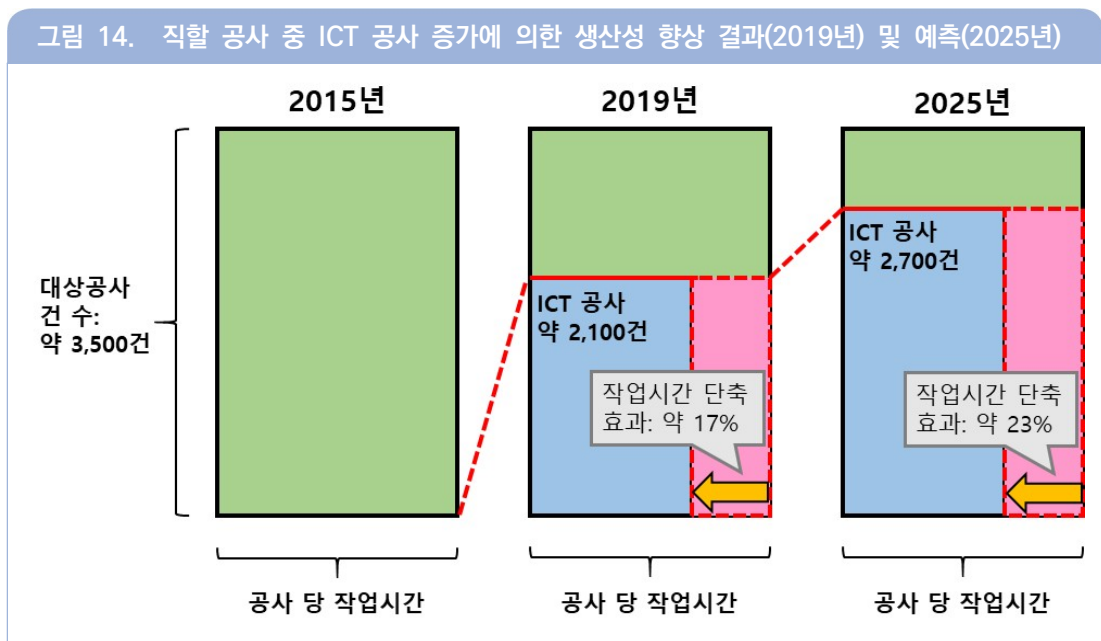
표 1. 중앙 정부 직할 공사 및 지자체(시/도/현) 공사의 ICT 실시 비율

구분	2016		2017		2018		2019	
	공고 건수	ICT실시	공고 건수	ICT실시	공고 건수	ICT실시	공고 건수	ICT실시
직할공사	1,625	584	1,952	815	1,675	960	2,246	1,799
지방공사	84	-	870	291	2,428	523	3,970	1,136

* 출처 : 일본 국토교통성(2020) I-Construction 자료

3.2. 건설 산업 생산성 향상

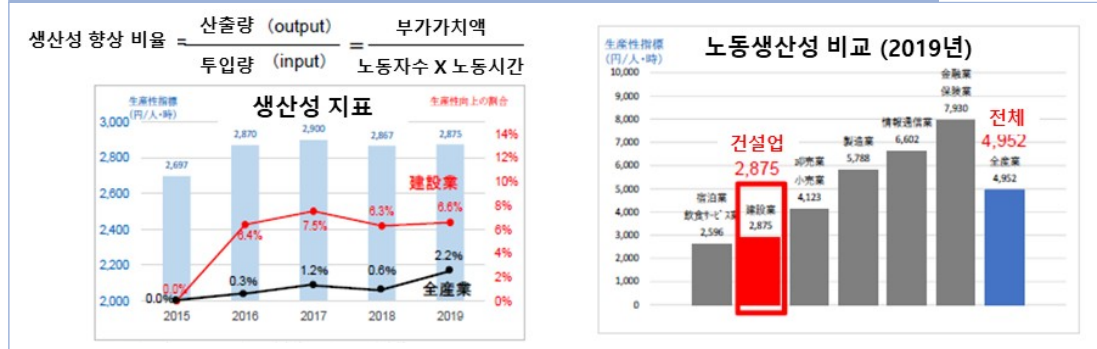
직할 공사의 ICT 활용에 따른 작업 시간 감축 효과로 인한 생산성 향상 비율을 비교한 결과, ICT 활용 토공 적용 전인 2015년과 비교했을 때 2019년에 약 17%의 생산성 향상이 정량적으로 확인되었다. ICT 활용 공사를 지속적으로 실시·확대 추진하여 2025년에는 생산성 향상 수준을 20%까지 높이는 것을 목표로 하였다.



* 출처 : 일본 국토교통성(2021) I-Construction 자료의 수치 반영하여 작성

직할 공사 이외 지자체 및 민간 공사를 포함한 전체 건설 산업의 생산성 향상도 평가는 직할 공사와 같은 방법으로 산출하는 것이 어렵기 때문에, 관련 통계 데이터를 활용하여 단위 근로자의 시간당 부가가치액으로 생산성 향상 비율을 계산한 결과, i-Construction 도입 전의 2015년 대비 2019년에는 7% 가량 향상되었음을 확인하였다. 추후 지속적인 건설 산업 생산성 향상을 위해, 대형 업체 위주인 현재의 ICT 적용 방향을 중소기업까지 보급하기 위한 여러 시책을 추진하고, 혁신 기술을 적용하기 쉬운 건설 프로젝트 환경의 조성 및 BIM(Building Information Modeling)/CIM(Construction Information Modeling)의 현장 활용을 위한 인재 육성과 확보를 주요 과제로 삼고 있다(일본 국토교통성, 2020).

그림 15. (좌) 전체 건설 산업의 생산성 변화, (우) 2019년 노동생산성 비교

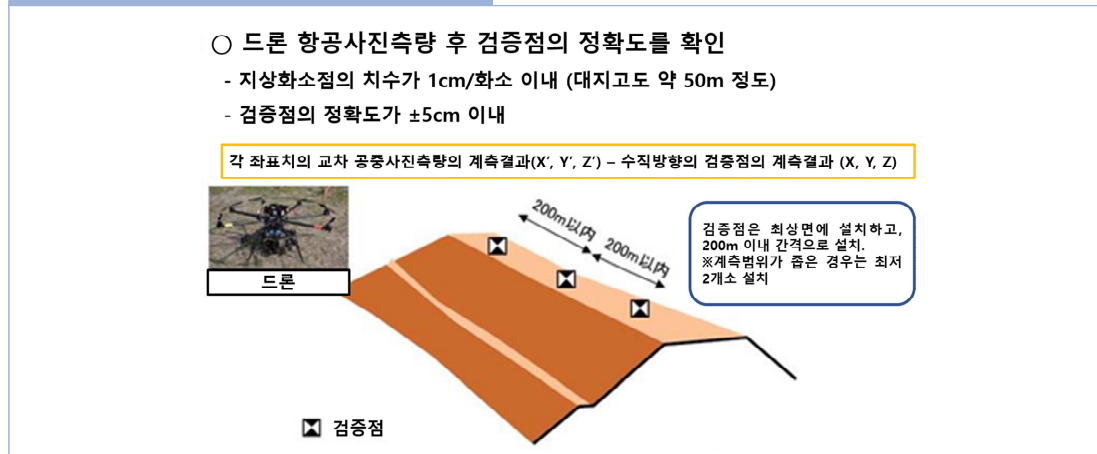


* 출처 : 일본 국토교통성(2020) I-Construction 자료

3.3. 정부의 i-Construction 추진 지원 방안 확립

국토교통성은 ICT 토공 기술을 실제 현장에 적극적으로 적용할 수 있도록, 현장 조사와 측량, 설계, 시공, 검사 및 유지관리 등 전체 건설현장 프로세스에 대해 ICT 기술 활용 및 3차원 데이터 사용에 관한 15개의 가이드라인을 신설하였다. 이후 i-Construction 컨소시엄과 연계하여 지속적으로 개선해 나가고 있다. 여기에는 드론 측량 3차원 데이터를 만들기 위한 매뉴얼이나, 3차원 설계 측량으로부터 취득한 3차원 점군데이터의 효율적인 토공 결과 관리법도 포함되어 있다.

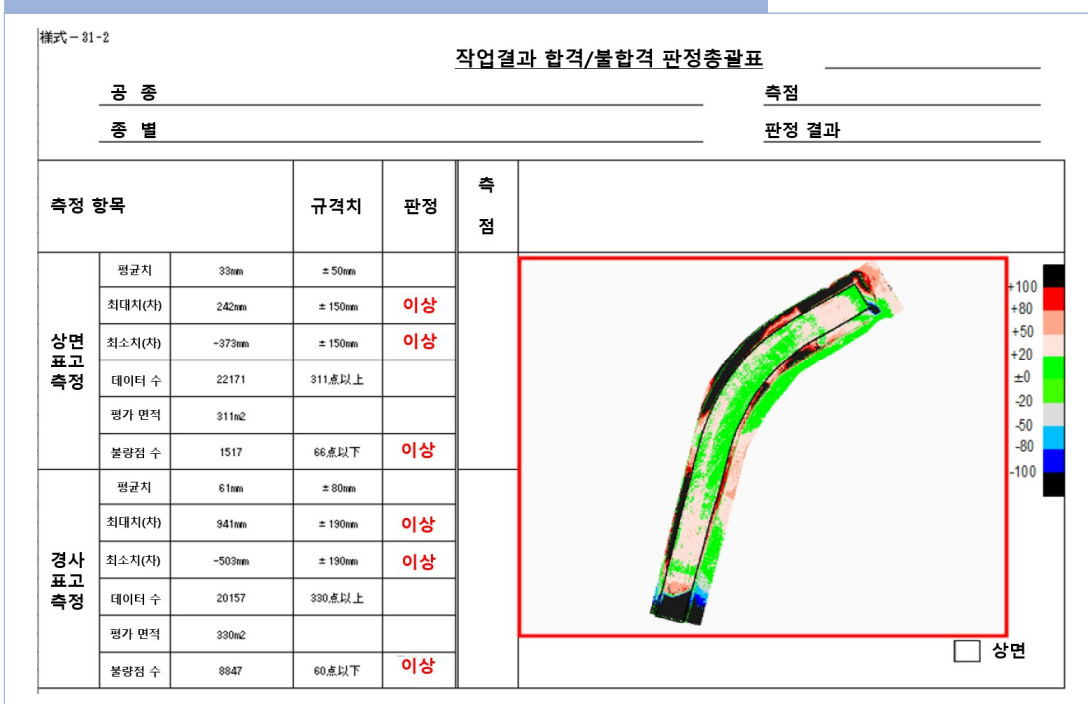
그림 16. ICT 토공 가이드라인 예시



* 출처 : 일본 국토교통성(2016) 공중사진측량(UAV)을 이용한 작업물 관리 요령(토공편) (안)

중소기업 및 지방 공공단체가 ICT 토공 기술을 적용하는 과정에서의 허들을 낮추기 위해, 합리적인 공사비용이 반영되도록 ICT 건설 장비의 가동시간을 고려한 견적 기준기를 추가하고, 최신 현장 실태를 반영한 일반 관리비 기준을 재검토하였다. 또한, 1만 m³ 이하 소규모 토공 공사의 단가 기준을 신설하는 등 소규모 토공 공사의 실태를 반영한 견적 기준을 개선하고 있다. ICT 시공의 보급을 위해 정부가 주도적으로 지역별 ICT 시공 교육 기관을 확보하고, ICT 어드바이저 제도를 활용한 ICT 시공 및 3D 데이터 대응 가능한 기술자 육성을 적극적으로 추진하여 핵심 인력을 양성하고 있다.

그림 17. 드론 기반 측량 작업결과 및 합불 판정 총괄표 예시



* 출처 : 일본 국토교통성(2016) I-Construction 자료

3.4. 산학 및 민관 구성원 간 연계 강화

전담 WG의 활동을 통해, 아직 실시하지 않은 새로운 ICT 토공 기술을 발굴하여 현장에 적용하고, 이를 효과적으로 전파하기 위해 해당 기술에 대한 수요 기업과 공급 기업 간의 매칭 활동을 실시하였다. 이를 통해 2017년에 5건이던 기술 매칭이, 2018년에는 11건까지 매칭이 이루어지고 있어 점차 증가세에 있다.

이후 국토교통성 지원을 받아 각 지방 정비국이 주체가 되어 지역 대학과 기업 간 기술 매칭이 원활하게 이루어지도록 실시요령 및 환경도 구축하였다. 도쿄대에서는 본 사업과 연계하여 'i-Construction 시스템학'에 대한 연구개발이 진행되고 있다. 주요 활동으로는 건설 현장의 경쟁력과 생산성을 높일 수 있는 인프라 타블렛 플랫폼 구축, 화상처리 기반 검사 시스템 개발, 블록체인 기반 공공 공사 계약 정보 및 공사 관리 시스템 개발 등이 현재 진행 중이다.

3.5. i-Construction의 해외 확대 적용

업무 및 공사에 대한 데이터 관리는 ISO 19650을 중심으로 국제 표준에 맞도록 일본 내 BIM/CIM 가이드라인을 개정하였고, 해외 선진사례를 참고하여 일본 내 건설업 규정도 수정하고 있다. 일례로, 독일에서는 2020년부터 모든 공공 건축 및 토목 공사에 BIM을 적용할 예정으로, 일본에서도 2021년부터 설계업무 및 공사의 데이터 관리 방법의 시행안을 작성하고, 2022년부터 4차원 모델 활용을 포함한 BIM/CIM 활용 가이드라인을 전파할 계획이다. 또한, 관련 민간 기업 등과 연계하여 동남아 국가를 대상으로 ICT 건설 환경 구축 지원 및 해외 기술자 연수를 지원하고 있다.

4. 국내 스마트건설 기술 적용 추진 방향

II장에서 설명한 것처럼, 선진 건설 현장과 국내 건설 현장에도 MG 시스템과 같은 운전자 모니터링 시스템과 비숙련자를 돕는 반자동(Assist) 기술·기능은 이미 적용되기 시작했다. 해당 기술들이 실제 현장에서 더 널리 적용되기 위해 추가로 필요한 것이 무언인지 알아보기 위해 III장에서는 일본의 선진 사례를 살펴보았다. 건설/토공 현장 생산성의 대부분을 차지하는 것이 건설 장비의 역할이지만, 장비에 단순히 스마트 및 자동화 기능 몇 가지를 적용하는 것만으로는 이해관계가 다양하고 복잡하게 얽혀 있는 실제 건설 현장의 실적용률을 높이는 데 한계가 있기 때문에 선진국 사례를 살펴보았다.

일본의 사례에서 국내의 스마트 건설에 적용할 수 있는 제도 및 과정에서의 추진 방향 몇 가지를 참조할 수 있었다. 위원회를 구성하여 사전 조사와 준비를 철저히 하고, 컨소시엄 및 개별 세부 WG 활동을 장려하여 상세 실행 아이템(Action Item) 및 세부 기술 발굴을 끊임없이 진행하면서, 이를 정기적인 기획위원회를 활용해 전체 프로젝트를 추진하고 관리했다. 이후에도 이것들을 제도화하기 위한 가이드라인 및 규정 신설과 인력 양성을 추가로 추진하고, 스마트 건설의 현장 적용 확대 활동이 지속적으로 유지되도록, 산학-민관 연계 및 전파 활동까지 지원했으며 해외 시장으로의 확대까지 준비하는 점을 주목할 만 하다.

IV 스마트 건설의 미래 : Concept-X와 무인 장비

II장에서 설명한 스마트 건설장비 기능들은 작업에 대한 모니터링 또는 반자동 제어만 가능하도록 해주는 것이었다. 그러나 현대두산인프라코어가 Concept-X 프로젝트를 통해 준비하고자 한 미래는 무인 장비와 이를 통제하는 관제 센터 중심의 무인 건설/광산 현장이었다. 정부의 제도와 프로세스에 대한 지원 아래, 현장에 ICT 시공이 확산·적용된 뒤에는, 장비의 자동화/무인화 수준이 높아져 스마트 건설 시스템 전체의 정확도와 생산성이 추가로 향상될 것으로 추정된다. Concept-X 프로젝트의 무인 굴착기 기술을 살펴보자.

1. 무인 굴착기 시스템 구성

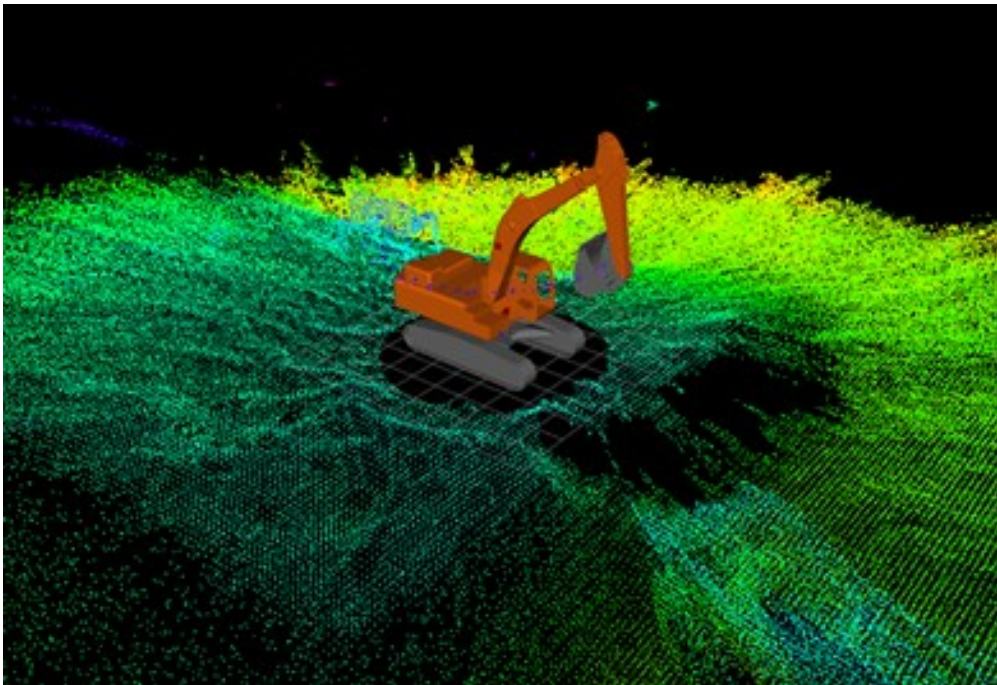
무인 굴착기의 시스템 아키텍처(Architecture)는 크게 인지(Perception), 판단(Planning), 제어(Control)로 나뉘며 세부적으로는 수십 가지의 모듈들이 상호작용하며 동작한다. 이런 복잡한 알고리즘이 실시간성과 신뢰성을 만족하며 각 주기에 맞춰 구동될 수 있도록 로봇 운영 체제(ROS, Robot Operating System)를 사용하여 각 컴포넌트(Component) 자원의 양을 제한하고 통신할 수 있도록 하였다.

1.1. Perception System

무인 굴착기의 인지 시스템은 RTK GNSS, 선회 센서, IMU 등으로 이루어져 있다. 일반 자동차용 GNSS에 비해 건설 현장에서는 센티미터 단위의 고정밀도가 필요하므로, RTK GNSS를 사용한다. 또한, 굴착기는 상부체 방위각 정보를 알아야 하므로 2개의 GNSS 안테나를 장착하여 방위각을 실시간 계산하며, 상부체가 회전하여도 하부체 트랙 방향 정보를 알 수 있도록 선회 센서를 선회부에 장착하여 상부체와 하부체의 상대 각도를 실시간 확인할 수 있도록 했다. IMU는 붐, 압, 버킷 및 굴착기 몸체(바디)에 장착하여 작업기 관절의 각도와 굴착기 몸체의 경사각(Pitch, Roll)을 실시간으로 감지할 수 있도록 하였다. 굴착기가 무인으로 작업을 수행하기 위해서는, 주변 환경을 인지해서 데이터로 만들어야 하므로 주변 환경 인지 기능을 추가했고,

SVC(Stereo Vision Camera, 스테레오 비전 카메라), LiDAR, RADAR, USS(Ultrasonic Sensor Simulation, 초음파 센서 시뮬레이션), AVM(Around View Monitoring System) 등이 적용되었다. SVC는 사람이 두 눈을 통해 3차원 공간을 시각적으로 인지할 수 있는 것처럼 2개의 렌즈가 서로 떨어진 위치에서 동시에 촬영하여 색, 질감 외 깊이와 같은 3D 정보를 얻을 수 있게 해준다. 캐빈에 장착한 SVC는 굴착기 전방의 사물을 인지하며, 굴착기 앞에 장착한 SVC는 굴착기의 목표 작업 지형을 스캔한다. LiDAR는 무인 굴착기의 붐에 장착하였으며, 목표물에 레이저를 쏘아 반사될 때까지의 시간을 측정하여 인지 대상체까지의 거리를 계산하여 정보로 제공한다. RADAR와 USS는 전방을 제외한 주변 사물을 감지하는 용도로 사용되며, 장애물과의 상대 거리와 속도를 출력으로 내보내는 안전 기능 담당 센서이다. AVM은 4개의 광각 카메라를 상부체 전후방과 양 측면에 배치하여 사각지대에 존재하는 장애물을 구분하기 위하여 사용하고, 4개의 광각 카메라 영상 정보를 실시간으로 붙여서 수행하여 하나의 입체 영상 정보를 생성/전달한다.

그림 18. 360 Area Scan



* 출처 : 박민철 외(2020)

1.2. Planning System

판단(Planning)이란 인지(Perception)로부터 얻은 정보를 기반으로 주변 환경을 파악하고 다음 동작 및 작업을 결정한다. 판단 시스템은 크게 Local Task Planning, Decision Making, Motion Planning으로 나뉜다. Local Task Planning에서는 작업 영역 안에서 효율적으로 이동할 수 있도록 경로 생성하는 Path Planning과 작업을 위한 트랙의 정지 위치를 선정하고 굴착 위치를 세분화하는 Sequence Planning이 있다. Decision Making은 관제센터(X-Center)로부터 내려온 작업 순서대로 움직이도록 임무(Mission)를 관리하는 Mission Management System과 작업 도중 갑자기 발생하는 사건(Event)에 대한 우선순위를 판단하고 개별의 단위 작업을 결정하는 Decision Makings System이 있다. Motion Planning에는 작업을 위한 작업 장치의 궤적과 주행을 위한 주행 궤적을 생성하는 Trajectory/Path Planning이 있다.

1.3. Control System

굴착기는 유압 시스템으로 구성되어 있는데, 굴착기의 유압회로는 구조가 복잡하고 유압회로 자체의 비선형성이 시스템의 제어 모델링 구현과 정확도 성능 확보를 어렵게 만드는 주요 요인이다. 따라서 이를 고려해서 성능을 확보할 수 있는 제어기 설계가 중요하다.

굴착기의 작업기 제어는 로봇 매니플레이터 제어와 유사하여, 추종해야 할 궤적 명령 신호는 조인트의 각도 정보로 구성한다. Motion Planning에서는 전문가의 동작을 학습한 머신 러닝 기반의 목표 궤적을 생성하며, 직교 좌표계에서 표현되는 버킷의 궤적을 역기구학을 통해 조인트 좌표계의 값으로 변환하여 제어 시스템에 전달한다. 제어 시스템에서는 IMU 및 선회 센서 등을 사용하여 실시간 측정하는 굴착기의 실제 조인트 각도 정보와, Motion Planning으로부터 전달받은 각도 명령의 오차를 최소화하는 역할을 수행한다. 이를 위한 제어 로직은 크게 피드백 제어부와 피드포워드 제어부로 나뉘며, 피드백 제어부는 실제 산업 전반에 널리 쓰이고 있는, 비례-적분(PI, Proportional-Integral) 제어 기법을 사용한다.

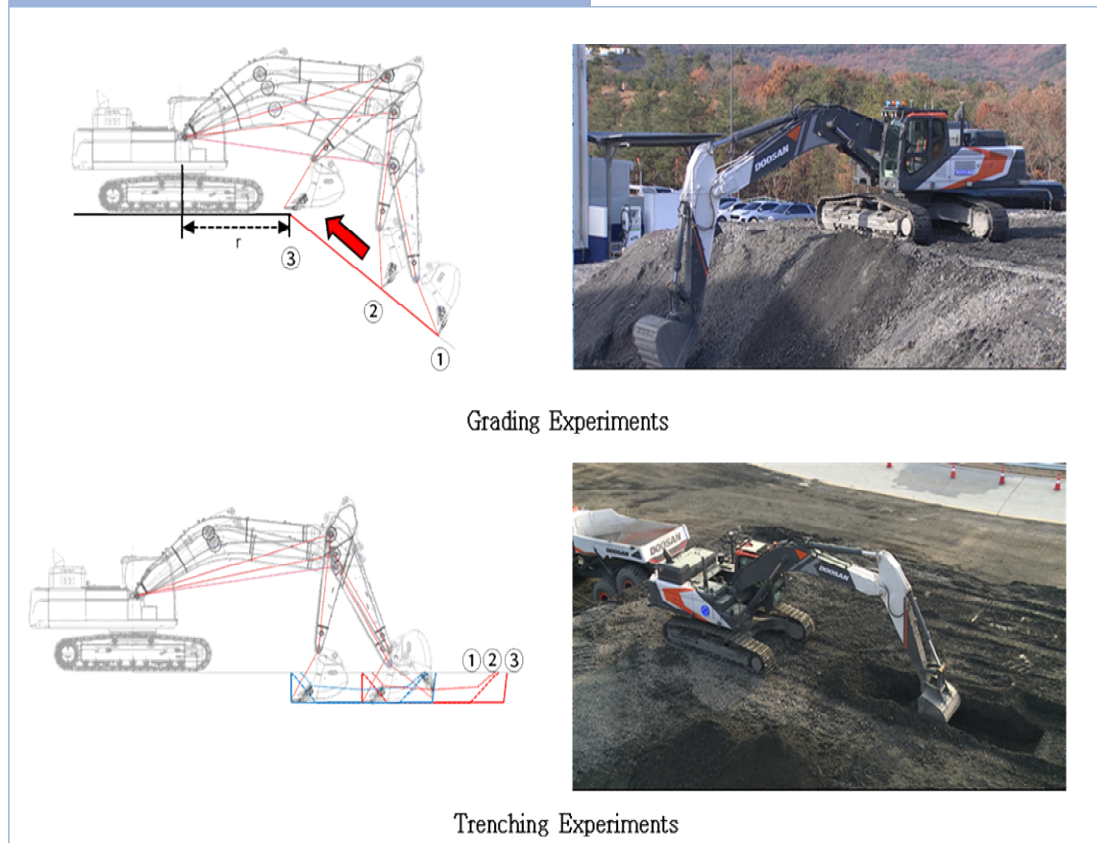
무인 굴착기의 주행제어는 인지(Perception)에서 추정된 굴착기의 지역(Localization) 정보와 Reference Way point의 차이를 비교하여 선속도와 각속도(Yaw rate) 제어명령 값을 생성한다. 하지만 페루프 제어를 수행 중 비상 정지 혹은 원격제어 입력이 감지되면 주행을 멈추고 원격제어 명령을 따르도록 설계하였다. 주행 제어기에서 출력되는 Reference Velocity와 Reference Yaw rate는 굴착기의 제원을 고려하여 트랙의 속도 명령 값으로 변환되며, 굴착기 트랙의 속도 값은 굴착기의 속도에 따른 조이스틱 명령 값의 관계 모델을 통하여 변환되고 제어된다.

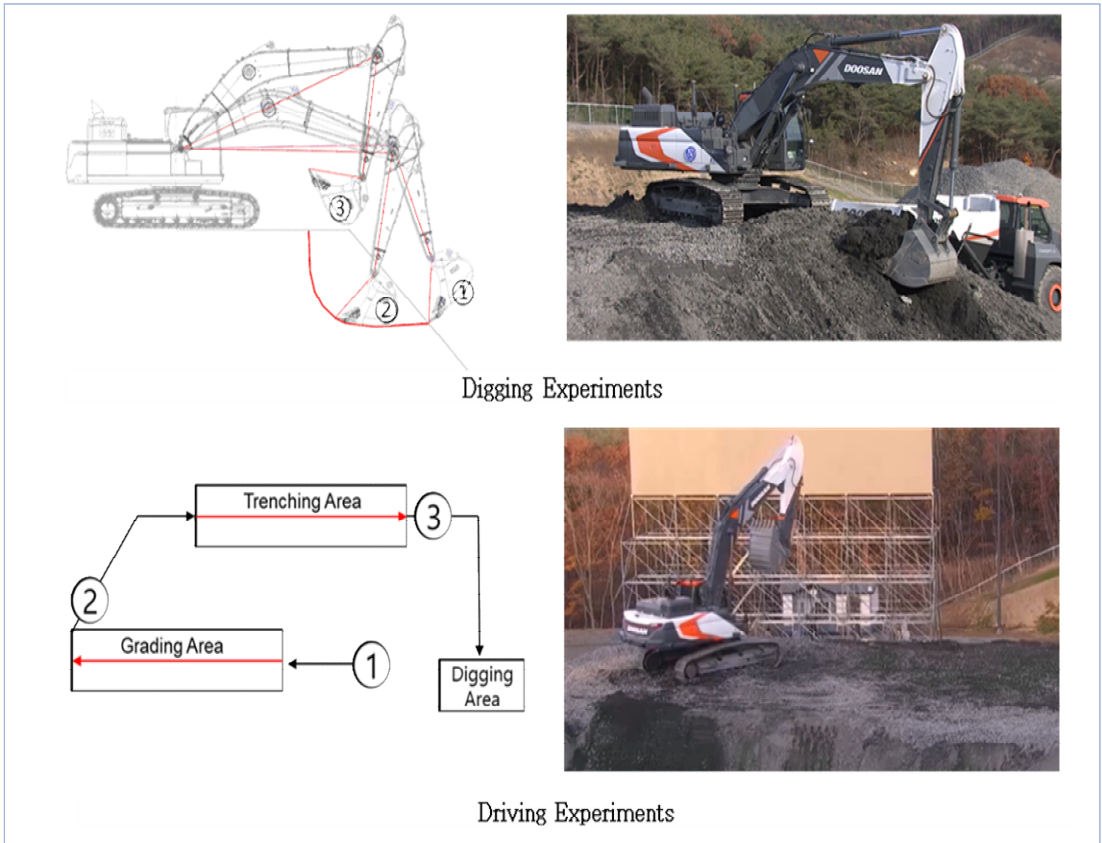
2. 시연 결과

2.1. 시연 시나리오

Concept-X 프로젝트에서 수행한 무인 굴착기 작업은 크게 4가지다. 울퉁불퉁한 지형을 평탄하게 고르는 Grading, 관로 공사나 상하수도 매설 등을 위해 길고 반듯하게 땅을 파는 Trenching, 흙을 굴착하는 Digging, 작업을 위해 작업 영역까지 주행하는 Driving이다. Grading과 Trenching은 작업의 연속성을 위하여 주행 작업과 필수적으로 연동하여 작업해야 하며, 실제 시연에서는 주행 작업과 연동한 Grading 3회, Trenching 8회, Digging 6회를 실시간으로 수행하였다. Digging의 경우 흙을 파는 것뿐만 아니라 덤프트럭에 정확하게 Loading하는 것까지 수행하였고, 38톤 Concept-X 무인 굴착기로 시연 및 시험을 진행하였다.

그림 19. Concept-X 무인굴착기 시연 작업





* 출처 : 박민철 외(2020)

V 결론

지금까지 스마트 건설 현장에 적용되고 있는 건설장비의 무인화/자동화 기술 트렌드와 세부 요소 기술에 대해 소개하였다. 자율 주행 자동차처럼, Industry 4.0 관점에서의 건설장비 분야도 전자제어 기반의 지능화 기술이 활발히 적용되고 있고 상업적인 성과도 조금씩 나오고 있다. 그러나 자동차와 달리 장비 종류 별 기능이 다르기 때문에 필요한 자동화 기술 수준과 기능의 모습이 다르고, 이에 대한 몇 가지 사례도 살펴보았다. 도저와 모터 그레이더는 건설 현장의 평탄화 작업이 가장 중요한 목적이므로 평탄화 작업을 더 정확하고 빠르게 수행하여 현장의 작업 생산성을 높여주는 반자동 기능이 먼저 개발되어 적용되었다.

굴착기는 도저 및 모터 그레이더와 달리, 더 다양한 작업을 하는 범용 장비이기 때문에 MG 시스템이 늦게 적용되었으며, 주행과 작업이 대체로 분리되어 진행되기에 고가의 RTK GNSS 시스템이 없는 저가의 2D MG 시스템도 3D MG 대비 입문용으로 시장에 먼저 적용되고 있다. 근래에 들어서는 굴착기에도 평탄화 작업을 위한 반자동 제어 기능이 개발되어 현장에 적용되기 시작했다.

스마트 건설 장비의 개별 기술과 해당 기술이 실제 현장에서 어떻게 적용되는 지 알아본 다음으로, 스마트 건설 기술이 실제 현장에 잘 적용될 수 있도록 선진 국가의 제도적 준비 및 추진 사례를 일본의 i-Construction 프로젝트를 통해 알아보았다. 일본 국토교통성은 자국내 건설 산업의 문제점의 핵심을 노동력 과잉으로 인한 생산성 저하와 느린 생산성 개선 속도 및 재해율과 미래 건설 산업의 인력 부족으로 정의하고, i-Construction 프로젝트를 준비하기 시작했다. 위원회를 구성하고 건설 산업의 전체 프로세스에 ICT 시공 기술을 적용하기로 결정하고, 컨소시엄 구성과 개별 WG 활동 및 기획위원회를 통해 실제 프로젝트 추진을 관리하였다. 지금까지의 i-Construction 프로젝트 추진 결과는 성공적이라고 할 수 있다. ICT 시공 사례가 계속 확대되었고 현장의 생산성도 향상되었으며, 이를 제도화하기 위한 가이드라인 및 규정 신설과 인력 양성이 추가로 진행되었다. i-Construction 활동이 지속적으로 유지될 수 있도록, 산학-민관 연계 및 전파 활동을 지원했고 해외 시장으로의 확대 계획까지 수립하여 추진하고 있다.

일본의 사례에서 국내의 스마트 건설 적용을 위한 제도적, 프로세스적 추진 방향 몇 가지를 참조할 수 있을 것이다. 일본 정부가 건설 산업 전반의 보수성을 극복하기 위해 민간기업과 협력한 것처럼, 우리도 현재

진행 중인 스마트 건설 기술 개발 국책 사업과 비슷한 흐름의 국책 사업들을 통해 정부와 민간 기업 및 학계가 협력해서 스마트 건설을 현장에 정착하기 위한 구체적인 노력을 하고 있다. 정부-민간-학계의 여러 컨소시엄이 있고 개별 세부 소그룹 활동이 진행되고 있는 것으로 알고 있고, 당사도 일부 과제에 참여 중이다. 다만 일본이 i-Construction을 통해 먼저 추진하여 성공적인 결과를 확인하고 있으므로, 우리도 세부적인 실행 아이템(Action Item)을 추가로 벤치마킹할 필요는 있다. 정기적인 위원회를 조직하고 활용하여 스마트 건설의 전체 흐름을 관리하고 추진할 수 있을 것이며, 세부 기술과 가이드라인 및 규정들을 제도화하고 현장 인력을 양성하기 위한 세부 지침과 프로세스를 만드는 노력을 선진 사례처럼 지속해야 할 것이다.

현재 건설 시장의 스마트 장비 기술을 살펴봤고, 선진국 사례를 통해 제도적, 프로세스적 지원책이 추가로 필요함도 알아봤다. 다음으로, 스마트 건설과 스마트 건설 장비의 미래를 알아보기 위해 Concept-X 프로젝트 중 무인 굴착기의 세부 요소 기술을 살펴봤다. 무인 굴착기는 스스로 판단하고 움직일 수 있도록 인지(Perception), 판단(Planning), 제어(Control)로 나뉘며 각각의 기능이 주기에 맞게 작동하고 상호작용할 수 있도록 ROS를 적용하여 통합하였다. 무인 장비를 구성하는 3개의 시스템(인지, 판단, 제어)은 각각 필요한 센서 및 알고리즘과 SW로 구성되어 있고, 세부 요소 기술에 대해 융합연구리뷰에서 자세히 알아보았다. 융합연구리뷰에서 알아본 요소 기술이 무인 장비 기반의 스마트 건설 현장의 미래에 필요한 요소 기술의 전부는 아니다. 자율주행 자동차와 달리, 건설장비는 다른 장비들과 협업하거나 현장의 작업 순서 앞뒤로 연계된 다른 작업들이 서로 밀접하게 연결되어있어 현장에서의 협업이 중요하고, 이에 따른 협업 및 Fleet 관리 요소 기술 개발도 추가로 필요하다.

무인 건설 장비 기술을 개발하면, 현재의 스마트 건설 기술/제품 대비 앞으로 발전할 현장의 스마트 건설 미래를 더 구체적으로 예측할 수 있다. 장비 무인화를 위해 추가된 인지 시스템의 데이터는 드론 측량보다 더 자주, 더 빠르게 관제 센터에 현장의 작업 현황 정보를 업데이트할 수 있을 것이고, Trenching이나 Grading과 같은 단순 반복 작업은 간단하게 무인화해서 현장에 투입하는 것이 효율적일 것이다. 무인 제어를 위해 개발한 Motion Planning 알고리즘 연구는, 더 효율적인 굴착기 움직임 연구로 자연스럽게 이어지고 유인 장비의 반자동(Assist) 기술 개발에도 도움을 주고 있다. 기술 개발 측면에서의 장비/현장 무인화를 목표로 추가 개발되는 세부 요소 기술들이, 이제 본격적으로 시작하는 스마트 건설 현장의 추가 이익 창출 기회로 이어지고 시너지를 낼 수 있음을 확인할 수 있고, 스마트 건설 현장의 다음 미래를 구체적으로 더 그릴 수 있었다.

저자_ 김동목(Dongmok Kim)

• 학력

서울대학교 기계항공공학 박사
서울대학교 기계항공공학 석사
서울대학교 기계항공공학 학사

• 경력

現) 현대두산인프라코어(주) 부장

저자_ 홍희승(Heeseung Hong)

• 학력

서울대학교 기계항공공학 박사
서울대학교 기계항공공학 석사
서울대학교 기계항공공학 학사

• 경력

現) 현대두산인프라코어(주) 책임연구원

참고문헌

〈국내문헌 : 가나다순〉

- 1) 박민철, 정우용, 양승만, 홍희승, 홍성훈, 이희진, 김창목, 문지현, 강민성, 김영준, 유근수, 김동목, 무인 굴착기 자율 제어 시스템 개발, 2020 한국자동차공학회 춘계학술대회, Vol.60, No.167, 2020.

〈국외문헌 : 알파벳순〉

- 2) Y. Shimano, Y. Kami and K. Shimokaze, Development of PC210LCi-10/PC200i-10 machine control hydraulic excavator, Komatsu Technical Report, pp. 940-949, 2014.

〈기타문헌〉

- 3) Hyundai Doosan Infracore [Online], Concept-X, Introduction, <https://asia.doosanequipment.com/kr/smart-solution/conceptx/overview>, (Accessed: 23 Sep 2021).
- 4) Youtube, Komatsu-intelligent Machine Control Dozer D61i-23, <https://www.youtube.com/watch?v=6FHIF2jnINM>, 2017.
- 5) Youtube, Cat® Grade Control for Motor Graders: System Upgradeability, <https://www.youtube.com/watch?v=jocZkrrouGAU>, 2017.
- 6) Youtube, 두산인프라코어 굴삭기 2D 머신가이던스 시스템, <https://www.youtube.com/watch?v=qjST9jaIXIE>, 2018
- 7) 일본 국토교통성(2016), 공중사진측량(UAV)을 이용한 작업물 관리 요항(토공편) (안)
- 8) 일본 국토교통성 i-Construction 자료, <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>
- 9) 일반사단법인 일본건설업연합회, <https://www.nikkenren.com>
- 10) 일본 경제산업성 통상백서(2013), <https://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2013/index.html>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 October vol.7 no.10



02

건설 분야에서의 센서융합 3차원 고정밀지도 제작 기술 소개

김태훈(공간정보품질관리원 책임연구원)

I 서론

현재 우리는 항공기와 인공위성, 고정밀 광학기술과 디지털 장비의 융합, 정보통신 네트워크와 교통수단의 연계를 통해 하나의 글로벌한 공동체를 실현해가고 있으며, 이는 인간의 공간지배력을 한층 강화시키는 도구로서의 역할도 함께 하고 있다. 여기에 지도가 최신의 공간정보를 제공할 수 있는 여건이 마련될 경우, 공간정보는 사용자들에게 보다 높은 편의성을 제공할 수 있으며, 미래 사회에 도래할 디지털 트윈과 메타버스 등 가상현실세계의 기본 인프라로 자리 매김할 수 있을 것이다.

최근의 지도는 2차원 평면에서 높이 값을 가시적으로 표현한 3차원 입체 형태로 발전되어 서비스되고 있으며, 지도의 패러다임 또한 종이에서 수치로, 또 수치에서 이미지 자료가 융합된 3차원 입체정보로 변화하는 시대적 상황에 놓여있다. 이러한 흐름 속에서 다양한 공간정보 서비스를 제공하는 기관들에서는 상업적 용도 혹은 대국민서비스 차원에서, 3차원 공간정보를 구축하여 인터넷을 통해 제공하고 있다.

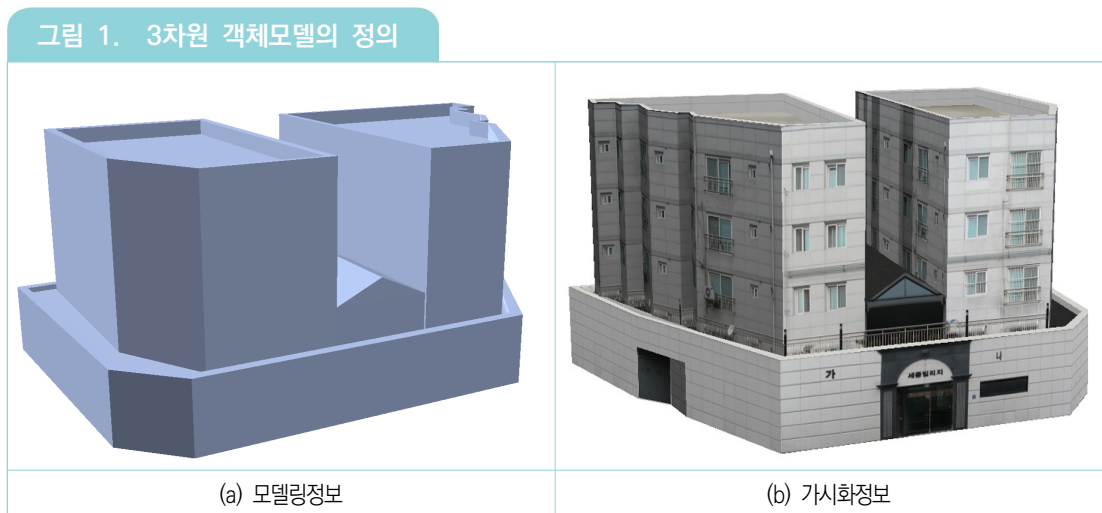
현재까지 3차원 정밀지도의 구축은 항공기를 이용하여 대상물을 촬영하고 저장하여 이를 편집하는 형태로 진행되고 있으며, 위치정보를 얻기 위한 일련의 측위나 형상의 가시화된 자료를 얻기 위한 목적으로 진행되고 있다. 3차원 정밀지도는 정보통신의 발달, 다양한 디지털 장비의 출현, 그리고 효율적인 모바일 도구의 등장으로 실세계를 현실감 있게 재현하는 수준으로 진화해 가고 있다.

3차원 고정밀지도는 기존의 지도 제작 기술들을 컴퓨팅 환경에 통합하는 융복합 기술의 한 형태로 평가하는 것이 바람직하며, 기본적으로 원천기술과 관련된 장비는 기존의 항공측량 기술을 기반으로 하고 있다. 3차원 고정밀지도 구축 시에는 항공 및 지상 장비로 취득한 디지털 사진을 수치해석에 의해 처리한 입체 모델을 이용하며, 건물 하나하나의 골격을 형성한 자료 등을 융합하여 완성된다. 융합기술의 한 형태인 3차원 고정밀지도 구축기술을 크게 두 부분으로 나누어 보면, 위치를 기반으로 형상의 골격을 생성하는 부분과 이미지를 기반으로 형상의 외관을 표현하는 부분으로 일반화할 수 있다.

형상의 골격을 이루는 프레임자료(이하 “모델링정보”라 한다)는 공중 및 지상 플랫폼을 이용하여 사진을 중복 촬영한 후, 기하학적 관계에 의해 입체 영상을 얻어내게 된다. 또한 형상 외관의 이미지 자료(이하 “가시화정보”라 한다)는 사진 상호간 관계를 정립한 여러 장의 사진 중 해상도와 형태가 양호한 것을 취사선택하게 된다. 최종적으로 하나의 객체모델은 모델링정보에 가시화정보를 텍스처링(texturing)하여 생성하게 된다.

3차원 고정밀지도는 지형지물의 위치와 기하정보를 3차원 좌표로 나타내고, 모델링정보와 가시화정보 등의 각종 부가정보 등을 추가한 디지털 형태의 정보로 정의할 수 있다. 여기서 모델링정보는 3차원 공간정보로 구축되는 지형지물을 실사형태로 제작한 것으로 <그림1>의 (a)와 같은 정보를 의미한다. 모델링정보는 다양한 방법에 의해 제작이 가능하며, 주로 공중장비에 의한 항공사진의 수치해석이론을 응용하는 방법과 지상장비에 의하여 건물의 주요 포인트 측량 및 처리하는 방법이 사용된다.

가시화정보의 경우 <그림1>의 (b)와 같은 형태로 현실감을 표현하기 위하여 구축되는 텍스처(Texture)를 의미하며, 이 또한 주로 공중장비나 지상장비에 의한 촬영을 통해 얻을 수 있다. 이와 함께 3차원 공간정보는 지형의 굴곡을 표현하는 수치표고모델과 지표의 실제 모습을 제공하는 실감정사영상으로 구성된다.



* 출처 : 이정일(2014)

II 가시화정보와 위치정보 수집을 위한 플랫폼 및 융합센서 기술

1. 플랫폼 기술 소개

1.1. 유인항공기 플랫폼

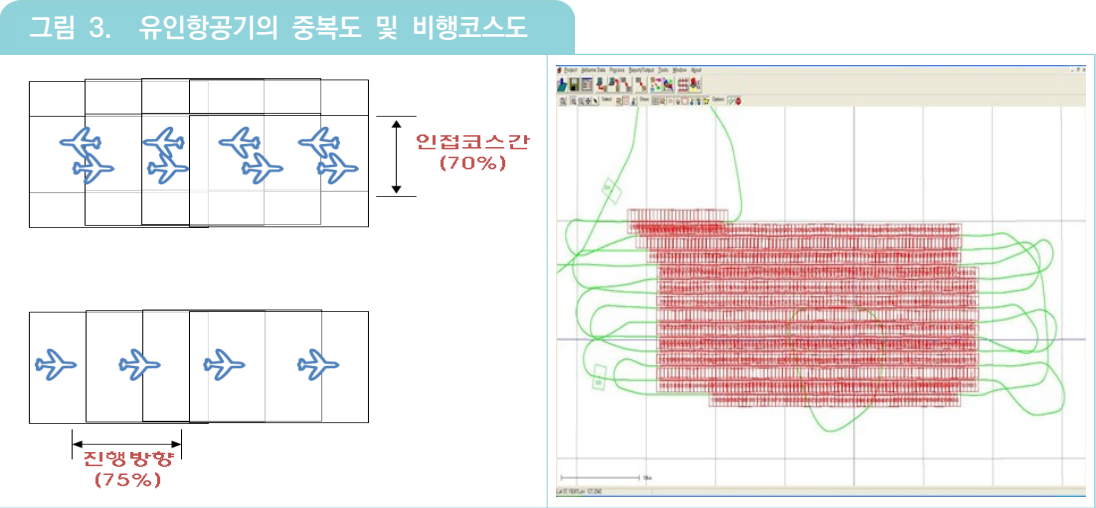
일반적으로 공중장비에 의한 3차원 정밀지도를 구축할 때에는 항공사진측량 방법에 따라 촬영계획 수립 및 촬영, GPS/IMU 자료처리, 원시영상생성, 지상기준점측량, 그리고 카메라기준점측량에 의해 자료를 취득한 후, 3차원 객체의 모델링 및 가시화정보가 제작된다.

그림 2. 디지털 카메라가 장착된 항공기 플랫폼



* 출처 : PRIMIS 홈페이지

항공사진측량에서는 입체사진을 얻기 위해 진행방향 60%, 인접코스 간 30%의 중복도를 적용하여 촬영하며, 3차원 고정밀지도 제작 시에는 품질확보를 위해 <그림 3>과 같이 진행방향 75%, 인접코스 간 70%의 중복도를 적용한다.



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

가시화정보는 수직사진의 중심보다는 주변부 부분으로부터 가용할 수 있는 상태의 조건을 갖춘 텍스처들을 질적으로나 양적으로 취득할 수 있다. 그러나 수직사진의 중심부에 위치한 정사영역이 불필요한 것은 아니며, 주로 상단면 텍스처 제작에 활용된다.

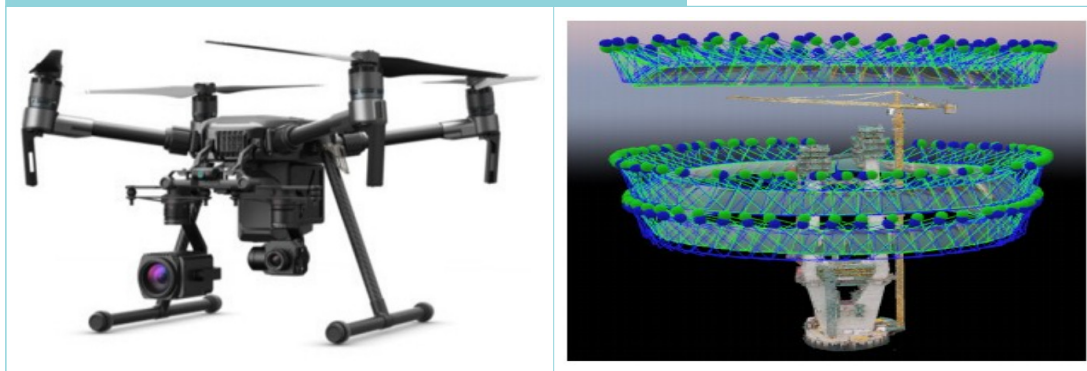
1.2. 무인항공기 플랫폼

드론체계(UAS, Unmanned Aircraft System)란 일반적으로 항공기 비행체, 원격 통신으로 조종하는 통제장비, 임무를 위해 드론에 탑재되는 센서와 같은 임무장비, 드론의 운용을 지원하는 장비 등이 하나의 시스템에서 운용되는 장비를 말한다.

드론은 자율비행이 가능하다는 점에서 외부조종사가 직접 조종하는 무선조종비행기와는 차이가 있으며, 일단 비행을 개시한 후에는 목표물과 함께 파괴되는 미사일과는 달리 기본적으로 회수가 가능하여 반복적으로 임무에 투입될 수 있다. 오늘날의 드론은 자신의 위치, 속도, 자세를 측정하고 주어진 임무에 맞는 최적의 경로를 스스로 생성하고, 이를 따라서 비행하며 자체적으로 고장을 진단하고 대응하는 매우 높은 수준의 자율성을 가지고 있다.

드론은 제한된 플랫폼의 크기와 적재 용량으로 인해 고품질의 측량용 카메라, 라이다 센서 및 관성항법장치(INS, Inertial Navigation System) 장비 장착이 어려운 문제를 갖고 있긴 하지만, 제한된 범위 내에서 수치표고모델과 영상을 저렴한 비용으로 구축할 수 있다는 점이 장점이다.

그림 4. 드론을 이용한 건설분야 3D 고정밀지도 제작

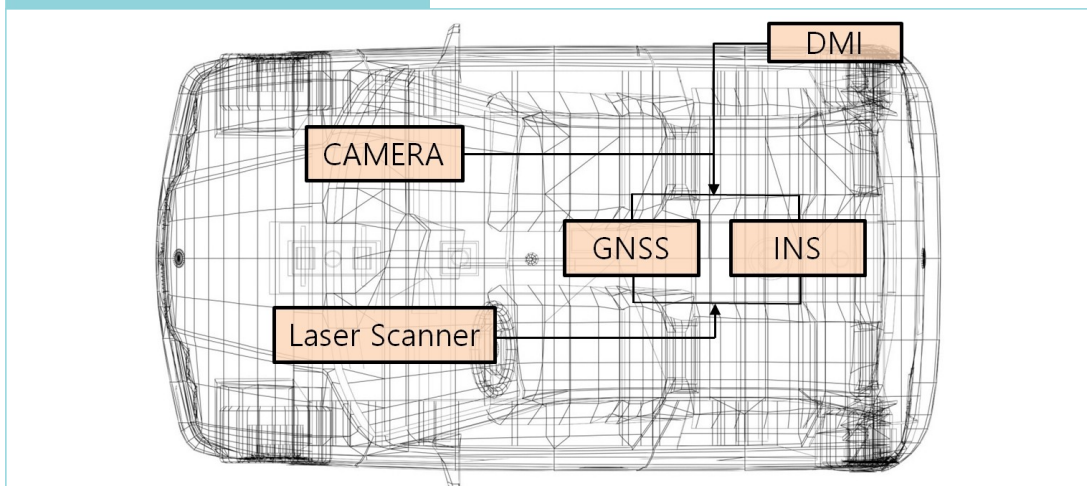


* 출처 : 권세호 외(2020)

1.3. 차량용 MMS 플랫폼

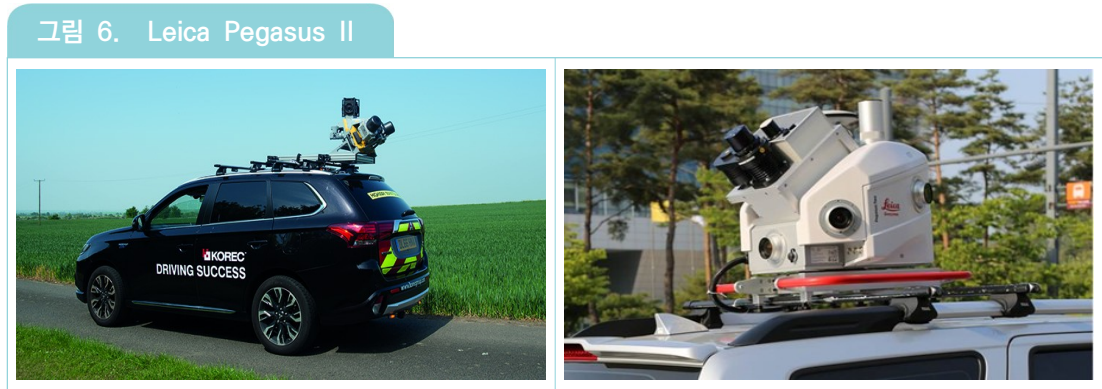
이동 지도제작 시스템(MMS, Mobile Mapping System)은 3차원 점군 데이터를 취득하는 레이저 스캐너, 영상정보를 취득하는 카메라, 위치정보를 취득하는 GPS, 자세정보를 취득하는 INS 등 다양한 센서를 통합하여 3차원 정밀지도를 제작하는 장비이다. 최근 자율주행 자동차 및 무인자동차를 위한 정밀도로지도 제작, 도로 및 교통 시설물의 위치 및 속성정보의 신속한 수정·갱신 등 다양한 분야에 활용이 되고 있는 측량 시스템이다.

그림 5. MMS 차량 센서 구성



* 출처 : 국토지리정보원(2018)

이동 지도제작 시스템(MMS)은 위의 <그림 5>와 같은 형태로 구성되어 있으며, 아래 <그림 6>의 모델은 Leica Pegasus II이다.



* 출처 : KOREC Group 홈페이지

2. 가시화정보 수집 센서

디지털 카메라는 기존의 아날로그 카메라가 화학적 신호를 이용하는 것과 달리, 객체의 이미지를 전기적 신호로 변환하여 디지털체계로 저장매체에 기억시키는 장치이다. 아날로그 카메라는 렌즈를 통해 들어온 상(Image)에 대해 필름에 빛을 투사하여 잠상(Latent image)을 형성하고 현상, 정착 및 인화의 과정을 거쳐 영상을 재현하는 방식이었다. 그러나 디지털 카메라는 동일한 원리에서 화학적 신호 대신에 전기 신호를 이용하며, 현상과 인화 등의 단계를 생략하고 디지털 카메라에 내장된 저장 매체에 직접 피사체의 이미지를 입력하는 방식이다.

렌즈와 조리개를 통해 카메라 내부로 전달된 빛은 전하결합소자(CCD, Charge Coupled Device) 또는 상보적 금속 산화물 반도체(CMOS, Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 등의 이미지 센서에 영상을 투사하고, ADC(Analog-Digital Converter)라는 디지털 변환 장치를 통해 이미지 파일로 저장된다. 융합연구리뷰에서는 디지털 카메라를 용도에 따라 항공사진과 지상사진 카메라로 분류한다.

2.1. 항공사진 카메라 센서

과거 수 세기동안 항공기를 이용한 사진 촬영은 다양한 목적에 의해 진화해 왔다. 필름카메라에 의한 지도제작 기술은 아날로그라는 물리적 한계에 직면하여, 공정에 따라 사람이 수동으로 처리하는 일들이 다수 존재했다.

이러한 지도 양산체계에서는 직접적으로 영상을 이용하여 이차적 지도 가공품을 만들어 내는 것에 극명한 한계가 있었다.

탈 아날로그 시대 이후 공학·기술 분야에서는 모든 장비와 제어시스템이 디지털화되어 항공사진 촬영에 있어서도 예외는 아니었으며, 아날로그와 디지털이 공존하는 잠깐의 시기를 거쳐 완전한 디지털 시대로 접어들게 되었다. 이로 인해 공간정보 분야에서는 아날로그에 의한 물리적 생산양식의 한계는 어느 정도 해소되었다. 디지털 카메라에 의한 항공 촬영 성과는 그 응용 분야가 아날로그에 의한 생산방식에 비해 비약적으로 확대되었다. 그중 대표적인 것이 가시화된 입체적 입면정보를 가진 3차원 고정밀지도라 할 수 있다.

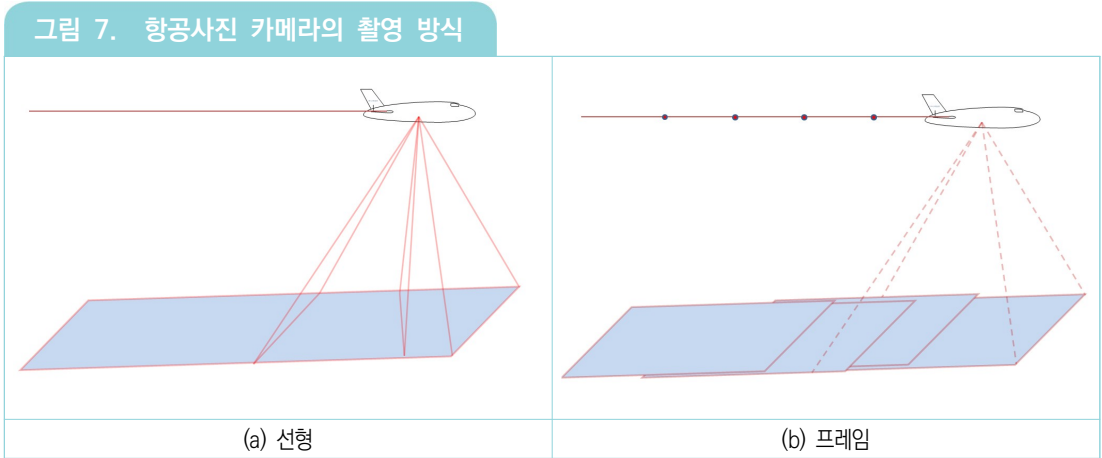
이는 아날로그 시대에도 이론적 토대를 기반으로 가능한 기술이었으나, 현재와 같이 보편성을 전제로 하나의 독립된 공간정보 콘텐츠로 구축되어, 상업적 용도와 대중성을 갖춘 서비스 차원으로 접근할 수는 없었다.

3차원 고정밀지도 구축 시 가장 중요시되는 요소로는 원시 영상을 취득하는 방법이며, 이는 카메라의 성능과 기능에 따라 좌우된다. 현재까지 공간정보의 취득을 목적으로 개발된 항공사진용 카메라는 수직 카메라와 다각 카메라로 양분된다. 수직 카메라는 다양한 용도의 범용성을 가지고 있으며, 다각 카메라는 3차원 모델링에 특화된 경향을 보이고 있다.

2.1.1. 수직 카메라

항공사진용 수직 카메라는 아날로그 카메라로부터 시작하여 디지털 카메라로 변화되는 과정까지 많은 발전을 거듭해 왔다. 2000년대 초반 디지털혁명으로 고정밀지도 제작 분야 중 광학장비와 디지털 주변기기가 결합된 항공사진용 카메라에 가장 큰 변화가 있었다고 할 수 있다. 항공사진을 촬영하기 위한 수직 카메라는 촬영 방식에 따라 선형 방식과 프레임 방식의 카메라로 이원화된다. 선형 카메라의 대표적 예로 Leica사의 ADS 계열을 들 수 있다. 이와 더불어서 프레임 방식의 카메라는 Microsoft사의 울트라캠 계열과 제이스인터그래프사의 DMC계열을 들 수 있다.

〈그림 7〉의 (a)와 같이 선형 카메라는 연속적인 지형 스캔에 의해 하나의 선형화된 영상을 취득하며, 프레임 카메라는 〈그림 7〉의 (b)와 같이 순간적으로 셔터를 지표면에 노출시켜 일정 단위의 면적을 촬영하는 방식으로 영상을 얻는다.



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

디지털 항공사진 카메라는 광학장치와 광전자 스캐너(Opto-electronic Scanner)를 통해 선형 또는 매트릭스(Matrix) 형태의 CCD 센서에 영상을 생성하는 원리로 구동된다. CCD는 외부 전압에 의하여 결정표면과 평행방향으로 전송할 수 있는 소자를 의미하는 것으로 반도체 속에 주입하는 소수 반송자의 신호를 한 다발의 전하로 한다. 프레임 카메라와 선형 카메라는 원칙적으로는 CCD에 상을 생성하여 영상으로 처리하는 과정을 거친다. 선형과 프레임 카메라는 상을 스캔하는 방식 차이에 의해 구분된다. 연속적 렌즈 노출을 통해 피사체의 상을 취하거나, 고정된 초점거리의 렌즈로 셔터 스피드를 조절하여 순간적으로 특정 면적을 한 번에 스캔하는냐의 차이로 구분된다.

융합연구리뷰에서는 프레임 카메라 중에서 마이크로소프트사의 울트라캠엑스피(UltracamXP)를 통해 디지털 카메라에 대한 제원과 원리를 파악해 보려 한다. 울트라캠엑스피는 대형 디지털 항공사진 촬영 카메라로 <그림 8>과 같이 8개의 광학콘(Optical Cone)이 동일 방향을 평행하게 촬영하는 방식의 수직 카메라이다. 이 카메라는 1,700m 상공에서 지상표본거리(GSD, Ground Sample Distance) 10cm급의 영상 취득이 가능하며, 단위 화소의 크기는 6 μ m이다.

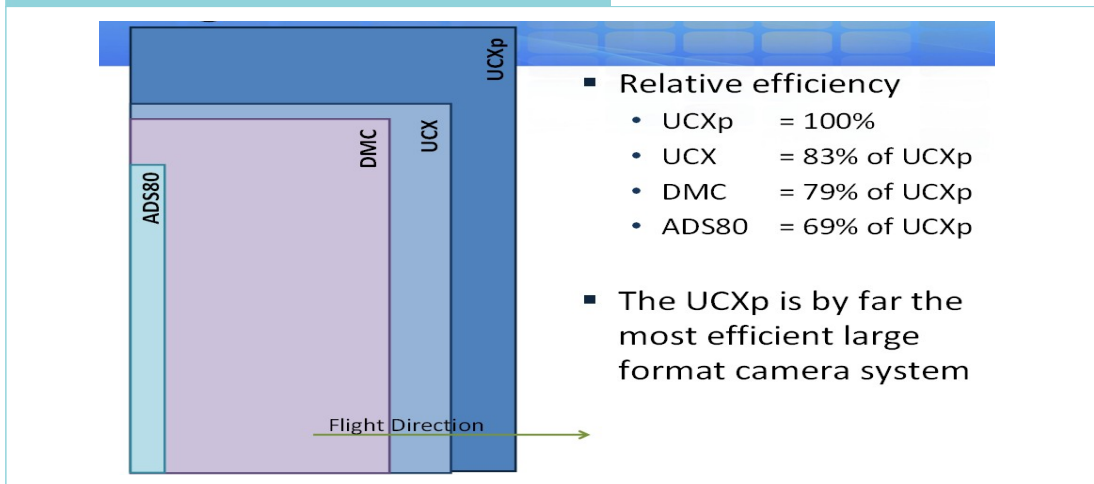
그림 8. 디지털 항공사진 카메라



* 출처 : Vexcel 홈페이지

울트라캠엑스피의 촬영 원리는 중심투영 방식의 수직 영상을 촬영하며, 각 분광의 반사율 차이를 이용하는 다중분광 영상으로 입체시(Stereoscopic Vision, 하나의 물체를 같은 거리의 다른 각도에서 찍은 사진을 찍을 때와 같은 거리만큼 떨어져 동시에 볼 때 입체적인 상(像)으로 보이는 현상)가 가능하다. 이 카메라는 기존의 아날로그 항공사진과 같이 프레임 방식으로 영상을 생성하여 기하학적 유사성을 가지고 있으므로, 기존 방식의 수치사진측량 시스템을 이용한 처리가 가능하다. <그림 9>는 최근 우리나라에서 사용하고 있는 디지털 항공사진 카메라 간의 동일 공간해상도에서의 단사진 면적을 비교한 것이다.

그림 9. 동일 공간해상도에서의 사진 면적 비교



* 출처 : Vexcel 홈페이지

울트라캠엑스피는 모자이크된 흑백 영상과 다중분광 영상 촬영 영역을 동일하게 맞추기 위해 초점거리를 달리하여 촬영한다. 이로 인해 다중분광 영상의 공간해상도가 모자이크된 흑백 영상에 비해 낮아지게 되는 문제점이 발생하게 되는데, 후처리 과정에서는 흑백 영상과 다중분광 영상을 합성하여 흑백 영상의 공간해상도와 동일한 다중분광 영상을 재생성한다. 이 카메라의 경우 8개의 렌즈 중 4개의 흑백 영상을 동기 촬영하고 하나의 흑백 영상으로 모자이크 처리하여 사진의 크기를 결정한다.

2.1.2. 다각 카메라

다각촬영(Multi-looking) 카메라는 경사 사진과 수직 사진이 동시에 취득되어 3차원 공간정보를 구축하는데 용이한 촬영 환경을 갖고 있다. 대다수의 3차원용 개발 카메라는 5방향을 취득하도록 구성되어 있으며 4개 또는 6개 조합 등의 다각 카메라도 개발되어 있다. <표 1>과 같이 전 세계적으로 3차원 공간정보 제작용 카메라는 다양하다. 이들 카메라의 공통점은 수직 방향 카메라 하나에 4방향을 경사촬영하는 카메라 배치를 기본으로 하고 있다.

표 1. 5방향 카메라 종류 및 제원

항목	픽토메트리	펜타디자캠	마이다스	SWDC-5	다각사진 촬영시스템
카메라 사진					
카메라 사양	39Mpixel급	39Mpixel급	Canon EOS1	39Mpixel급	39Mpixel급
CCD size(um)	7.4	6.8	6.8	6.8	6.8
경사촬영각(도)	32 ~ 47	30 ~ 60	35 ~ 50	30 ~ 60	45
카메라헤드	고정식	고정식	고정식	고정식	고정식
제작사	Pictometry (미국)	IGI (독일)	TrackAir (네덜란드)	GEO-VISION (대만)	지능형사업단 (한국)

* 출처 : 자체 작성

이 중 국내에 도입되어 다수의 3차원 공간정보 구축에 활용된 미국의 픽토메트리 인터네셔널(Pictometry International)사의 픽토메트리 카메라의 경우, 투영중심점 위치와 자세각은 카메라 본체 중앙부에 위치한 수직 카메라를 기준으로 적용된다. 나머지 4방향에 위치한 경사 카메라는 수직 사진을 기준으로 투영중심점 위치 및 자세각을 설정하도록 설계되었다. 즉, 수직 카메라의 위치와 자세각에 대한 경사 카메라의 이격거리 및 각도를 고정하여 후처리 과정에서 이를 계산, 3차원 공간정보 구축 시 피사체의 측면 텍스처로 활용하게 된다. 픽토메트리 시스템의 경사 카메라는 카메라 상호간 직각으로 배치되어 서로 다른 방향성을 가지며, 경사각은 약 40°이다.

2.2. 지상사진 카메라 센서

지상에서 피사체를 촬영하기 위한 카메라는 용도에 따라 매우 다양하게 개발되어 있으며, 최근에는 3차원 공간을 여러 기법으로 촬영하여 사진 원점을 기준으로 360°의 모든 공간을 표현할 수 있는 단계에 이르렀다.

이러한 다양한 방법과 장치의 개발로 3차원 고정밀지도 구축 시 지상에서 가시화정보를 취득할 수 있는 방안들이 다각적으로 모색되고 있다. 여기에 근접사진 촬영의 이점을 활용한 공간해상도 향상과 촬영 각도 선점의 용이성이 더해지면서, 선명도 등에서 항공사진의 가시화정보를 능가하는 상태에 있다. 3차원 고정밀지도 구축을 위한 지상카메라의 조건으로는 공간해상도와 촬영속도, 외부 트리거 신호의 입력 가능성, 응용 프로그램과의 상호 연동 및 호환성 등을 들 수 있다.

현재 사용되고 있는 지상카메라를 3차원 고정밀지도 구축과 관련하여 활용한다면 DSLR과 IP 카메라 등을 고려해 볼 수 있다. 디지털 일안 반사식(DSLR, Digital Single-Lens Reflex)이란 카메라 형태 중 하나인 일안 반사식(SLR, Single Lens Reflex) 카메라의 디지털 방식을 말한다. 일안 반사식(SLR) 카메라는 렌즈를 통해 들어온 빛을 거울이나 프리즘으로 반사시켜 파인더를 통해 디스플레이하는 방식으로, 렌즈에 입사된 상을 사용자도 똑같이 보게 된다. 렌즈 고정인 휴대용 카메라와 달리 렌즈 교환이 가능해 활용성이 뛰어나다는 장점이 있다. 표준, 망원, 광각, 접사, 줌 렌즈 등 다양한 렌즈의 사용이 가능하다.

〈그림 10〉의 (b)와 같은 IP 카메라는 유무선 인터넷에 연결하여 사용 가능하다. 카메라 모듈, 디코더, 영상 압축 칩, CPU, 네트워크 전송 칩 등으로 구성된다. 카메라 모듈로부터 받은 아날로그 신호는 디코더를 통해 디지털 신호로 변환되고 칩을 통해 압축된 후 전송된다. IP 카메라(일반적으로 감시를 위해 배치되는 디지털 비디오 카메라의 일종)는 외부에서도 네트워크를 연결하여 컴퓨터나 휴대폰으로 카메라를 제어할 수 있으며, 응용 프로그램과도 연동이 가능한 장점이 있다. 또한 소비전력이 적고 경량화가 가능하여 다수의 IP 카메라를 조합한 모바일 장비로 활용이 가능하다.

그림 10. 지상사진 카메라의 종류



* 출처 : SONY 홈페이지

3. 위치정보 수집 센서

3.1. 레이저스캐너

레이저는 빛 등의 파를 전달하는 매질과 평행한 다수의 반사경을 이용하여 빛을 증폭시켜 발진하는 원리를 가진다. 레이저는 파의 위상이 일치하는 간섭성(Coherency)이 좋고 광선이 한 방향을 향하는 지향성이 우수하다. 또한 매우 좁은 범위의 파장대를 갖는 빛으로 구성되어 한정된 범위에서 큰 에너지를 집중시키는 특성이 있다. 자연광이나 인공으로 만들어진 다른 광선에 비해 확산이나 산란 없이, 단방향으로 나아가는 성질이 매우 강한 광선이다. 이러한 특성으로 인해 다양한 산업분야에 응용되고 있다. 최근에 측량분야에서는 상대적 거리 관계를 높은 정확도로 측정하기 위한 수단으로, 레이저를 결합한 융합기술이 다수 개발되었다.

이중 항공용 레이저스캐너의 경우 독립적으로 항공기의 절대적 위치를 재현해 낼 수 없으며, 지상과 비행기 플랫폼의 상대적 위치를 측정하는 역할만을 한다. 항공기의 경우 기상 조건이나 동체의 움직임 등으로 동일 고도를 유지하며 비행하는 것은 불가능하다. 또한 지표면의 기복은 지형의 형상이나 인공구조물, 식생 등에 의해 매우 다양한 높이 변화를 보인다. 따라서 지상까지의 거리변화를 상대적으로 기록할 수 있는 장치가 있어야 항공기에 의한 측위가 가능하다. 항공 및 지상 레이저스캐너의 경우 전술한 바와 같이 플랫폼과 측정대상물의 상대적 거리관계를 결정할 수 있는 장치로 그 원리는 레이저가 발진체에서 주사되어 측정대상체에 도달 후, 다시 돌아오는 시간차를 계산하여 상대적 거리를 결정하는 방식이다.

이때 상대위치를 규명하기 위해서는 시간차 계산과 더불어 주사방향도 동시에 알아야 한다. 주사방향의 경우 회전하는 반사경의 각을 측정하여 계산한다. 항공레이저의 주사 방법은 최초 레이저 광원으로부터 연속된 하나의 빔으로, 조사된 레이저를 초당 수 백회 고속으로 회전하는 바람개비형 회전반사경이 활용된다. 연속된 빔으로부터 설정된 지상의 시야각(FOV, Field of View)을 상대로 레이저펄스를 배분하는 방식으로, 비행 방향과 직교하여 전체 유효 면적의 상대 높이를 측정한다. 지상레이저스캐너의 경우 기준점에 장비를 거치 후 레이저펄스를 회전 방사하게 되면, 라이다 장비를 중심으로 대상체의 상대적 위치를 무수히 많은 점의 형태로 수집한다. 후처리 과정에서 기준점 성과를 라이다 구심점의 위치로 등록하게 되면 모든 점에 절대좌표가 부여되는 원리이다.

그림 11. 레이저 스캐너



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

3.2. GPS/IMU

항공기는 공중에서 빠른 속도로 움직이는 플랫폼으로 시시각각 지상과의 위치 관계가 변한다. 이러한 이유로 항공기를 이용하여 지상의 위치정보를 취득하기 위해서는 특별한 장치가 필요하다. 이를 위해 최근에 개발된 것들이 동적 측위가 가능한 장치들로 대표적 예가 <그림 12>와 같이 범지구 위치 결정 시스템(GPS, Global Positioning System)과 관성측정장치(IMU, Inertial Measurement Unit) 등을 들 수 있다. GPS와 IMU는 공중에서 움직이는 비행체의 절대위치와 자세정보를 얻기 위해 GPS/IMU 시스템으로 결합하여, 같은 시간에 취득된 데이터를 결합해 위치정보를 재현한다.



* 출처 : PILOTSHOP 홈페이지

GPS/IMU 시스템을 통하여 항공사진측량에서는 촬영 당시의 외부표정요소를 직접적으로 계산하며, 항공라이다측량에서는 취득된 점 데이터에 수평 및 수직 위치 정보를 결정한다. GPS/IMU 시스템은 각각의 개별 장비에 의한 결점을 상호 보완하여 고정밀·고빈도 측정이 가능하다.

GPS의 경우 고속으로 이동하는 항공기에서 실시간으로 위치를 취득할 수는 있으나, 노이즈나 위성전파의 단절 및 왜곡으로 위치 오차가 발생한다. 또한 IMU는 측정 시간의 경과와 장거리 위치 이동시 오차가 증가하는 특성이 있다.

따라서 상호 장치 간 단점을 보완하고 장점을 살려 위치정확도를 유지할 수 있는 형태로 개발되었다. 최초 GPS의 개발 목적은 군사적 이용에 초점이 맞추어졌으나, 최근에는 민간에서 측위 및 항법용으로 지구상 절대위치를 결정하는 수단으로 사용하고 있다. X, Y, Z의 3차원 위치를 비교적 정확하게 취득할 수 있는 위치결정시스템인 GPS 기술은 측량 방식이 매우 다양하게 개발되어 있으나, GPS에 의한 측위를 크게 수신기를 움직임이 없는 고정된 상태에서 데이터를 취득하는 정지측위(Static)와 수신기가 이동체에 탑재된 상태로 데이터를 취득하는 이동측위(Kinematic)로 구분한다.

정지측위와 이동측위 모두 근본적으로는 삼각측량의 원리를 이용하며, 전형적인 삼각측량이 미지점의 위치 결정시 그 점을 제외한 두각의 크기와 그 사이의 변 길이를 측정하는데 반해, GPS 측량에서는 미지점을 사이에 두고 두변의 길이를 측정하는 후방교회법으로 위치를 결정한다.

정지측위의 경우 지상의 기준점 측량에 주로 이용되며, 복수의 안테나와 수신기를 측점에 설치하고 수십 분 내지 수 시간 동안 반송파 위상을 중심으로, 관측데이터 기록을 통해 복수의 안테나에서 수신된 데이터를 상대적으로 계산하여 위치를 결정한다. 이동측위의 경우는 지상기준국이라고 불리는 참조점에 안테나와 수신기를 설치하고, 이동체에 또 다른 수신기와 안테나를 탑재하여 동일 시간에 GPS 신호를 취득하여 위치를 계산하게 된다. 비행기에 GPS 수신기와 안테나를 탑재하고 경로를 따라 초단위로 데이터를 취득하게 되면, 움직인 궤적에 따라 등간격으로 비행체의 절대위치를 이동측위방식에 의해 얻을 수 있다.

IMU는 움직이는 물체의 회전정보를 기록하고 비행 당시의 자세를 재현하기 위해 개발되었으며, 가속기와 자이로, 지자기센서가 융합된 결합체이다. 자이로의 경우 자오선 방향을 측정하여 자세정보 취득시 표정문제를 효과적으로 해결해주는 역할을 한다. 가속기는 움직이는 이동체의 원 위치로 돌아가려는 원심회복력과 스프링의 방향성을 측정하여, 원심회복량의 전체합을 통해 이동경로를 측정한다. 가속기는 가속력과 시간에 대한 역 가속력을 기록하여 진북방향에 대한 상대적 이동각도의 측정이 가능하며, 이를 통해 수직 변위량과 중력가속도에 대한 정보를 얻는다.

3.3. 토털스테이션 및 VRS

3차원 고정밀지도 구축 시 항공사진을 이용한 수치사진측량 과정에서는 지상측량 장비에 의한 기준점 및 기준국 등의 필요에 의해서 지상측량이 수반된다. 이와는 별개로 가변 속도 음영 처리(VRS, Variable Rate Shading) 장비 및 토털스테이션은 3차원 객체의 모델링정보를 만드는 경우에도 사용된다.

이동측위의 한 형태인 VRS 측량의 경우 임시기준점을 신속하고 정확하게 설치하는 용도로 사용된다. 토털스테이션(Total Station, 각도와 거리를 함께 측정할 수 있는 측량기)의 경우 모델링 대상체의 변곡점 위치를 결정하는 측량 장비로 이용된다. 토털스테이션은 프리즘을 이용하여 미지점의 위치를 광파의 도달 시간과 방위각을 계산하여 얻는다. 높은 건물의 변곡점 측량 시에는 사람이 접근할 수 없어 무타켓 측량을 실시해야 하므로 이에 적합한 측량 장비를 이용하여야 한다.

그림 13. 지상측량용 장비



(a) 가상기준점 측량장비



(b) 토탈스테이션

* 출처 : (주)지오시스템 홈페이지

III 모델링, 가시화 및 객체모델 구축 기술

1. 모델링정보 구축

1.1 공중장비에 의한 모델링 방법

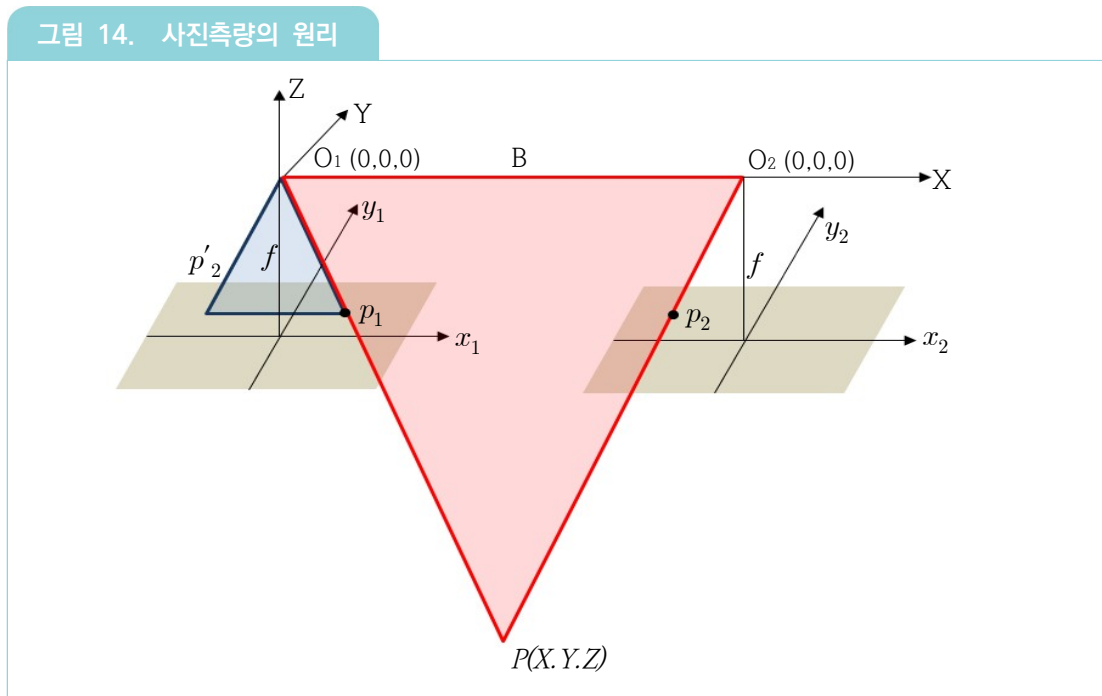
항공사진을 이용한 건물의 모델링성과는 사진 상에서 위치 및 높이에 대한 정보를 알 수 있어야 한다. 이는 다시 말해 기하학적 관계를 사진 상에서 정립하고 이를 이용하여 개별 건물을 입체 도화할 수 있는 조건을 충족시켜야한다.

입체 항공사진을 이용하여 해석적으로 지상과 사진과의 관계를 규명하는 것을 해석사진측량이라 한다. 이는 지상의 특이점과 사진 상의 대응 특이점 간 기하학적 관계식을 정립하여 사진좌표를 지상좌표로 환산해 내는 수학적 과정이다. 해석사진측량에서는 실제모델을 형성하기 위하여 최소한 50% 이상 중복 촬영된 항공 사진이 필요하다. 이는 실제모델을 해석적 방법에 의해 지상 특이점에 3차원 좌표로 대응하여 계산함으로써 형성된다. 이를 위해서는 사진 촬영 후 내부표정, 상호표정, 절대표정이라는 3단계의 기본과정을 거쳐야 한다.

상호표정 단계에서 공간상 임의 점에 3차원 좌표를 결정하는 기본공식이 적용된다. 이를 공선조건이라 한다. 공선조건은 “노출점, 지상의 점, 이에 상응하는 사진 상의 점은 3차원 공간상에서 일직선상에 있어야 한다.”는 조건을 의미한다. 이는 다시 말해 공간상에 존재하는 임의의 점 P 와 투영중심 O , 사진에 찍힌 상점 p 는 동일 직선상에 위치해야 조건이 형성된다.

공선조건을 이용하기 위해서는 입체적으로 중복 촬영된 사진이 있어야한다. 이는 1매의 단사진으로는 특별한 조건을 사진 상에 적용하지 않는 한 2차원 정보만을 얻을 수 있을 뿐 높이에 대한 정보 취득은 사실상 불가능하다. 사진측량에서는 3차원 좌표를 얻기 위해 대상을 서로 다른 위치에서 연속적으로 중복 촬영하여, 상호 중첩영역을 갖는 조건을 만들고 각각의 사진 상에 공선조건을 적용하여 3차원 좌표를 결정한다.

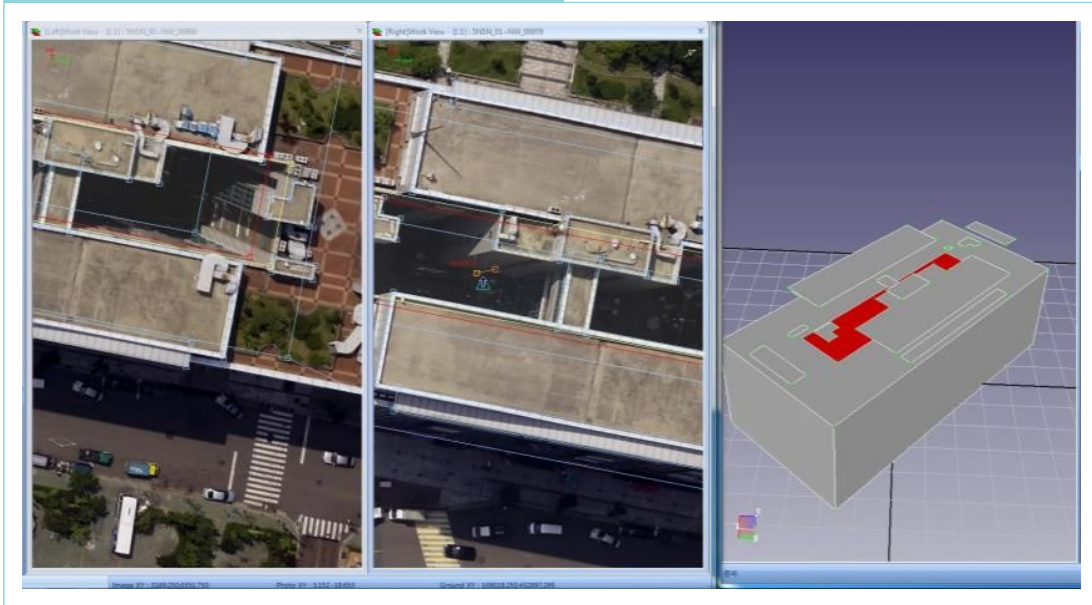
〈그림 14〉와 같이 좌측 사진의 투영중심 O_1 을 원점으로 하고 비행방향 X축, 연직 방향을 Z축, 이에 직교하는 방향을 Y축으로 하는 3차원 좌표계를 가정하면, 공간상의 임의의 점 P는 사진 상에 $p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2)$ 로 나타난다. 이와 같은 조건으로 공간상의 점 P에 대한 3차원 좌표(X, Y, Z)를 구한다.



* 출처 : 자체 작성

이와 같은 이론을 바탕으로 〈그림 15〉와 같이 항공사진을 이용한 3차원 공간정보의 골격이 되는 모델링정보를 제작할 수 있다. 최근에는 공선조건을 기본 알고리즘으로 3차원 모델링이 가능한 소프트웨어가 개발되어 세밀한 부분까지 묘사할 수 있는 저작도구들이 다양한 형태로 제공되고 있다.

그림 15. 공중장비에 의한 모델링정보 제작



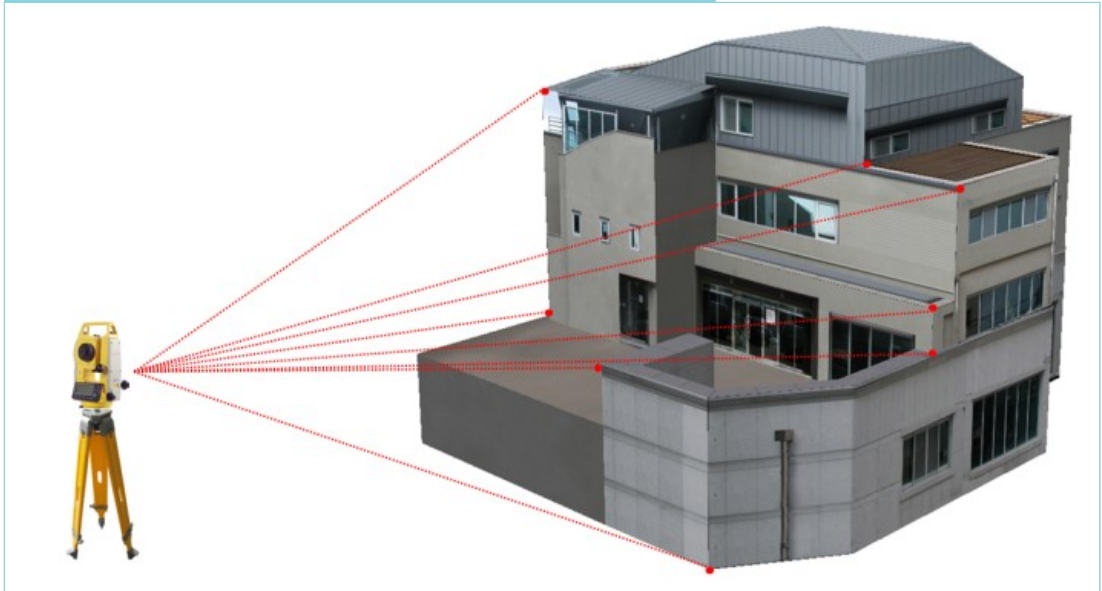
* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

1.2. 지상장비에 의한 모델링 방법

항공사진측량 방식에 의한 모델링정보 제작과 함께 지상측량에 의한 3차원 모델링도 가능하다. 이는 지상측량장비인 GPS와 토털스테이션, 지상라이다에 의한 방법 등이다. 원리는 GPS와 토털스테이션의 경우 건물의 변곡점을 타겟으로 절대좌표를 취득하는 방식이다. 지상라이다의 경우 기준점에 라이다 장비를 거치하고 고밀도 레이저펄스의 반사값을 이용하여 모델링 자료를 취득한다. 토털스테이션에 의한 건물 객체의 위치좌표 취득은 대상체의 변곡점을 측량한다.

〈그림 16〉은 자료 취득을 위한 객체건물의 타겟포인트(변곡점)를 나타낸 것이다. 토털스테이션에 의한 모델링 기초 자료의 경우 수평 및 수직 위치좌표와 측정명 등을 기록하고, 타겟 포인트에 대한 설명을 통해 먼처리 시 이를 이용한다.

그림 16. 토털스테이션을 이용한 객체건물의 변곡점 측량



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

지상라이더의 경우 레이저펄스를 회전하는 반사경을 통해 분사하고 객체표면에 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 위치정보를 수집하는 방식이다. 무수히 많은 점들이 객체의 형상을 표현한다. 토털스테이션에 의한 방식과 지상라이더에 의한 방식의 공통점은 위치좌표를 취득하는 방식이 점의 형태로 3차원 모델링을 위한 자료를 수집한다는 것이다. 점의 형태로 얻어진 위치정보는 모델링을 위한 직접적인 자료로는 부적합하여, 점을 선으로 연결하고 이를 폐합 및 면으로 가공처리하여 대상물의 모델링정보를 구축한다.

2. 가시화정보 구축

2.1. 공중장비에 의한 가시화 방법

2000년대 초반 디지털 카메라와 GPS/IMU에 의한 항공사진 촬영시스템은 다양한 분야에서 항공사진을 활용하여 위치를 기반으로 하는 다수의 솔루션을 창출했다. 디지털 항공사진 촬영이라 하여 기존 아날로그 항공사진 촬영과 이론적으로 크게 달라진 것은 없다.

전산업 분야가 그러하듯 인접기술들과 학문을 접목하여 새로운 융합기술을 만든 것과 같이 항공사진 촬영에서도 다수의 디지털 카메라를 조합하고, 여기에 GPS와 IMU 기술을 결합하여 절대위치와 비행기의 자세정보를 항공사진 촬영 당시에 직접 취득하여, 사진의 위치 및 자세를 재현하는 수준으로 발전시켰다. 이러한 위치정보가 부가된 항공사진의 경우 3차원 공간정보 구축에 있어 건물이나 구조물의 외관을 표현하는 가시화자료로 활용된다.

항공사진에 의한 가시화정보는 공중에서 지상을 촬영하여 건물객체의 옥상이나 바닥면과 같은 이미지를 얻을 수 있다. 건물의 측면 영상은 공중에서 수직으로 촬영되는 물리적 특징으로 사진 중심에서 멀어질수록 객체의 측면 노출부가 증가한다. 이와 같은 이유로 양호한 측면영상을 얻기 위해서는 촬영 시에 중복도를 계산하여 측면영상을 다수 확보할 수 있도록 하여야 한다.

가시화정보를 객체모델에 대응하는 영역에 한정하여 추출하는 방법에 있어 완전한 자동화는 현재의 3차원 기술로는 한계가 있으며, 미세조정과 텍스처 정보의 부분교체 등을 통해 정합의 정도를 높이고 있다.

객체모델에 해당하는 항공사진상의 가시화정보 추출은 선행적으로 모델링정보의 제작이 전제되어야 가능하다. 기 제작된 모델링정보의 건물면 법선벡터와 촬영 방향 벡터간의 합이 최소가 되는 영상을 선택하는 방법으로 가시화정보 추출이 이루어진다. 가시화정보 추출을 위한 위치의 기준은 <그림 17>과 같이 객체 모델의 중심이 된다. 이는 전술한 공선조건을 통해 얻는다.

그림 17. 객체 중심점과 폴리곤 영상과의 상응 관계



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

수직사진의 경우 <그림 18>과 같이 사진의 중심에 위치하는 건물의 경우 상단면만 정사투영에 가까운 상이 촬영되고, 사진 중심에서 멀어질수록 측면의 노출이 많은 건물 영상이 촬영된다. 지형의 기복이 없거나 낮은 건물의 경우 정사투영인 지도와 차이가 미미하지만, 높은 건물이나 지표의 기복이 클 경우는 지도와 상이하게 나타난다. 이렇게 지형·지물의 높이에 따라서 이미지의 차이가 나타나는 것을 편위(Displacement)라 한다.

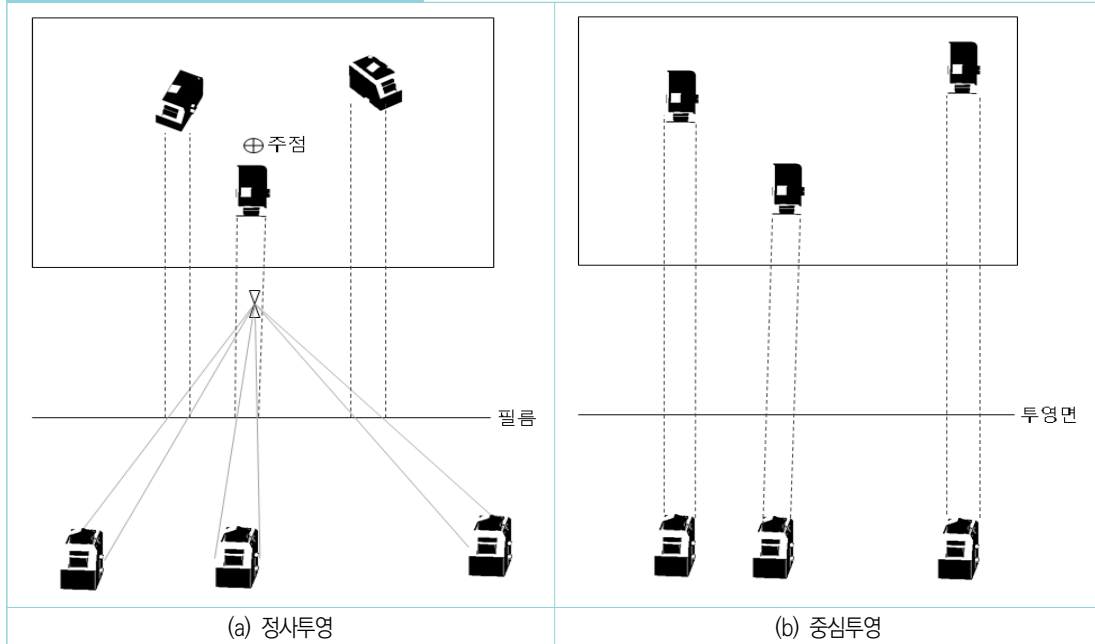
그림 18. 사진 중심 건물과 주변부 건물 이미지의 차이



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

<그림 19>의 (b)에서와 같이 중심투영에 의한 수직사진의 경우 편위가 발생하는 사진상의 영역은 사진의 중심(연직점)에서 멀어질수록 증가한다. 바꾸어 말하면 사진중심에서 멀어질수록 비례적으로 건물의 측면이 더 많이 사진 상에 노출되는 것이다. 이는 사진을 이용하여 <그림 19>의 (a)와 같은 정사투영인 지도를 제작하는 것에는 불리한 상태의 사진을 얻는 조건이지만, 건물의 모델링을 위한 측면 텍스처를 얻기에는 필수적인 조건이다.

그림 19. 정사투영과 중심투영



* 출처 : 자체 작성

3차원 고정밀지도 구축 시 수직사진 촬영에 의한 가시화정보 취득에 있어 사진 상 건물 또는 구조물 객체의 측면 노출 정도는, 성과의 질을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 가시화정보의 경우 측면 노출에 따라 묘사의 정도가 달라지며 건물 본체 및 부속물의 표현 세밀도에 상당한 영향을 미친다.

2.2. 지상장비에 의한 가시화 방법

지상사진에 의한 가시화정보 취득은 항공사진에 의한 취득 방법과는 많은 부분에서 차이가 있다. 이는 지상에서 촬영하는 일반적인 카메라에 의하여 가시화정보를 취득하게 되며, 건물 사면의 해상도를 고려하여 규모가 큰 건물의 경우 단일면을 여러 부분으로 나누어 촬영한 후, 이를 조합하여 3차원 고정밀지도의 가시화정보를 제작한다.

지상사진은 항공사진과는 달리 촬영위치를 비교적 자유롭게 결정할 수 있어 건물 주변 지장물 및 지물에 의한 촬영대상 객체의 차폐를 최소화할 수 있다. 항공촬영용 카메라와는 달리 촬영 축척을 고정된 위치에서 조절할 수 있어 높은 공간해상도의 영상을 취득할 수 있다. 대량생산을 위주로 촬영되는 항공사진과는 달리 소규모 변동을 수반한 건물 객체를 임의 수정할 때도 유용하게 사용된다.

지상사진은 건물 측면을 수평으로 촬영할 수 있어 항공사진에 비해 고품질의 건물 면 가시화정보를 얻을 수 있다. 가시화정보의 텍스처링은 생성된 모델링정보에 <그림 20>과 같이 현장에서 카메라를 이용하여 촬영한 객체의 4(전, 후, 좌, 우)면 가시화정보를 텍스처링하여 완성된다. 텍스처링을 위해 원시 가시화정보는 정사처리와 이미지 편집 및 보정 등의 과정을 거친다. 텍스처링 후에도 자연스러운 객체 형상을 위하여 이미지 편집 등의 처리 과정을 거치게 된다.



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

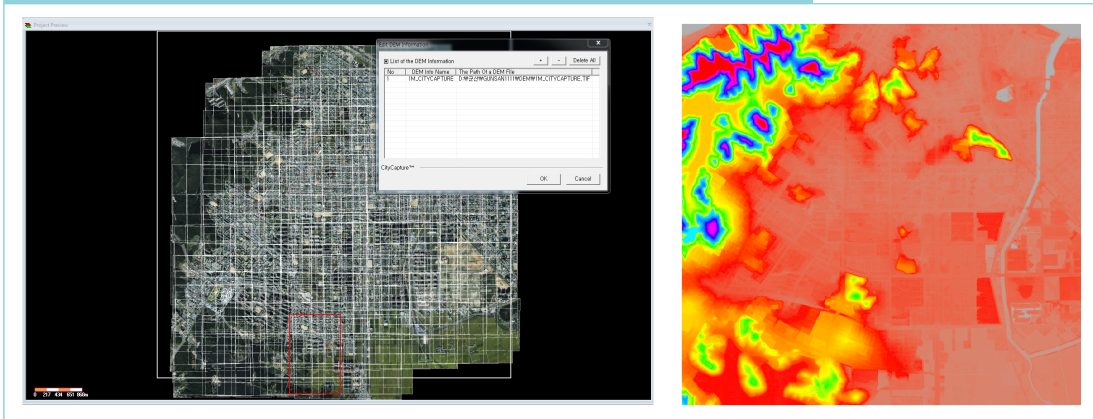
3. 객체모델 제작

3.1. 모델링정보 제작

모델링정보의 생성원리는 입체쌍을 이루는 사진을 특정한 조건식에 의해 상호 위치관계를 규명함으로써 가능하다. 실제 중복 촬영된 입체모델을 이용하여 모델링정보를 생성하는 과정을 거친다. 모델링은 높이에 대한 기준면이 설정되어야 한다. 이는 객체의 최상단에서 하단까지의 높이를 결정하는 기준이 된다. 이를 위해서 <그림 21>과 같이 여러 장의 중복사진을 수치해석 사진측량 방식에 의해 계산된 기하학적 상태로 사진을 중첩하게 된다.

모델은 각 건물 객체마다 하나의 프로젝트 단위로 제작되며, 모델링을 위해서는 상단면을 비롯한 측면이 노출된 사진이 필요하다.

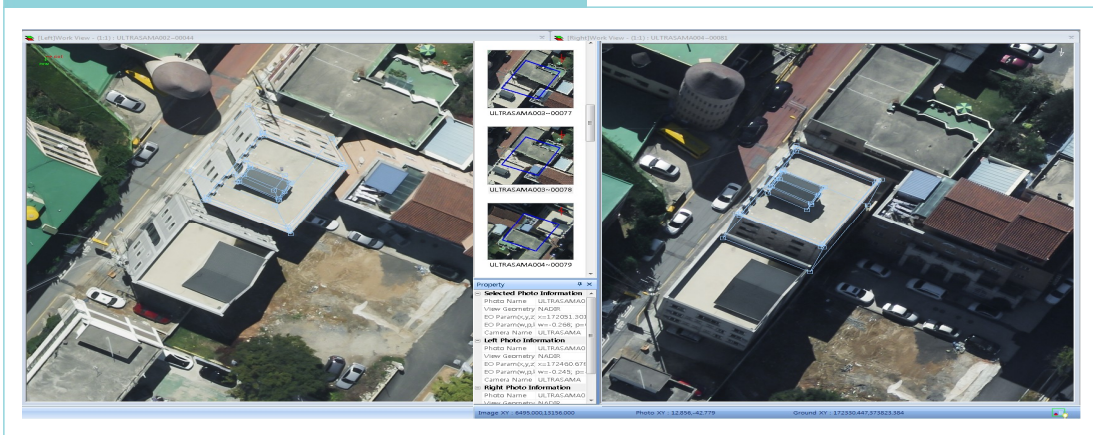
그림 21. 기하학적 관계가 정립된 입체사진 및 수치표고모델 자료



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

〈그림 22〉의 경우 다양한 각도에서 촬영된 동일 건물 객체의 후보 사진을 화면상에 제공하며, 이는 3차원 객체 모델을 제작하고자하는 특정 영역을 설정하여 기하학적 관계가 성립된 다수의 사진들 중 해당영역에 속한 부분을 동일 축척으로 출력한다.

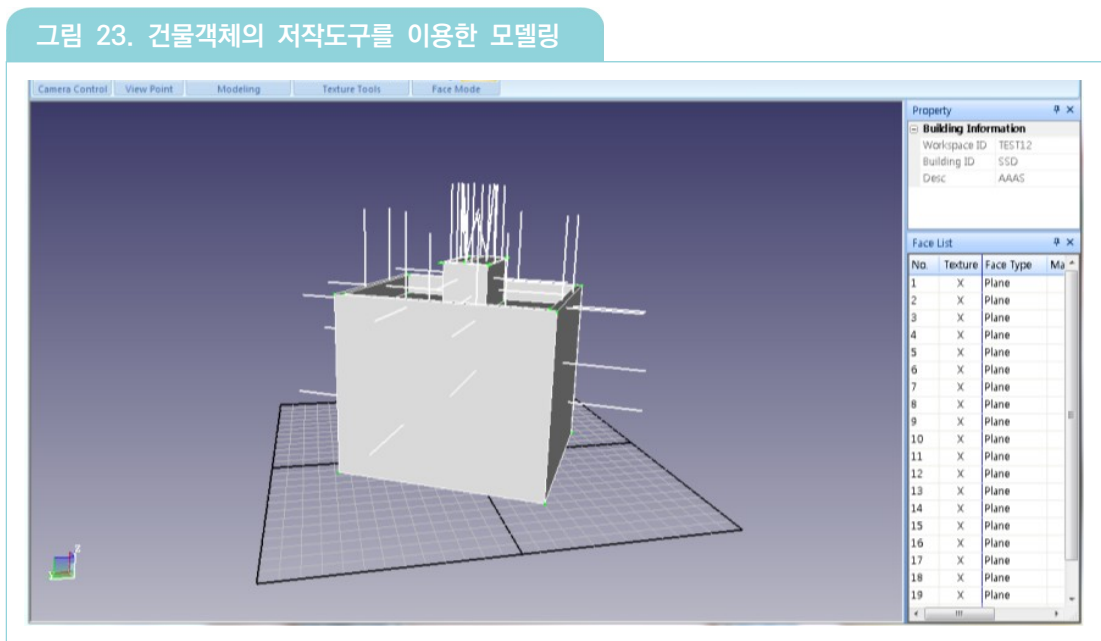
그림 22. 단일 건물 객체의 텍스처 후보 사진



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

이러한 처리 과정을 거쳐 객체건물이 포함된 사진과 모델링 제작 영역이 결정되면 3차원 객체모델을 도화하게 된다. 이는 기본적으로 공선조건을 바탕으로 하며, 묘사 기법의 다양성을 접목한 알고리즘에 기반을 두고 있다.


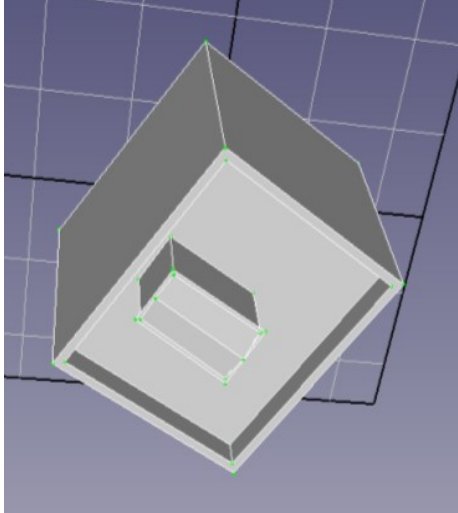
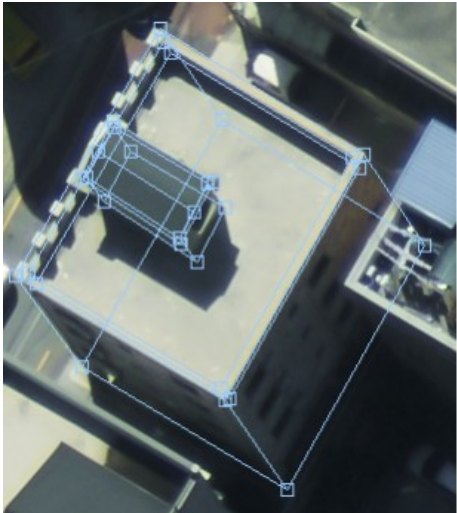
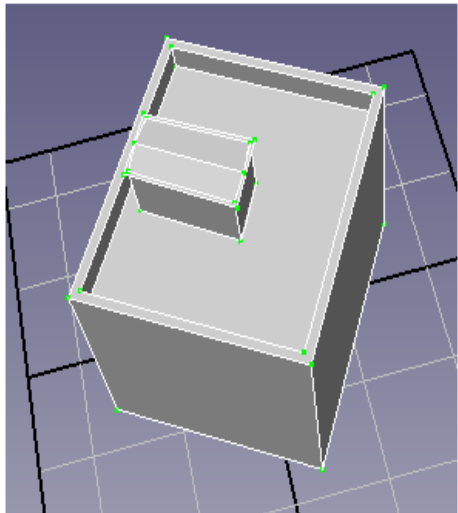
건물과 건물의 인동간격 및 위치관계, 폐색의 정도 등 다양한 묘사 제약사항을 감안해야 하지만 기본적으로 대표성을 갖는 후보 건물을 대상으로 한다.



* 출처 : 저자 연구결과 인용(공간정보품질관리원)

<표 2>와 같이 최소 두 장의 입체사진을 이용하면 다양한 각도의 3차원 모델링이 가능하다. 이는 모델링의 경우 사람이 건물의 윤곽을 확인하여 묘사할 수 있는 정도의 사진만으로도 가능하다. 구조물이 형이상학적이거나 부속물 중 형태가 복잡한 경우라 하더라도 모델링의 경우 피사체의 모습을 사람이 인식하거나 형태를 추정할 수 있다면 묘사가 가능하다.

표 2. 최소 사진매수에 의한 3차원 모델링

구분	항공사진	모델링정보
북서방향 측면노출		
남동방향 측면노출		

* 출처 : 자체 작성

3.2. 가시화정보 텍스처

공중장비에 의해 구축되는 가시화정보는 항공사진 촬영 시 중심투영인 사진의 특성상 사진 중심에서 멀어질수록 건물 측면의 노출 정도가 커진다. 이와 함께 지반의 높이 차이에 의해 피사체 측면이 노출되는 정도에 영향을 미친다.

〈표 3〉은 항공사진 촬영에 의한 가시화정보용 사진으로 고층, 중층, 저층 건물의 가시화 텍스처로 사용 가능한 사진을 추출한 것이다.

측면의 경우 건물의 높이가 낮아질수록 텍스처 영상에 부합하는 비율이 현저히 감소하며, 특히 인동간격이 협소한 단독주택 밀집지역의 경우는 건물 4개 측면 모두가 촬영되지 않는 경우도 상당 부분 발생한다. 저층 상가와 다세대 주택 등 3층 이하의 건물에서는 인동 간격과 주택의 밀집정도 등에 따라 부합비율이 달라지기는 하나, 기본적으로 건물 객체의 측면 가시화정보를 얻을 수 있는 비율이 극히 적어진다.

표 3. 공중장비의 가시화정보 텍스처 영상

구분	모델링	가시화	텍스처영상	
			상단면(옥상)	측면
고층				
중층				
저층				

* 출처 : 자체 작성

IV 건설 분야 3차원 고정밀지도 활용 및 공간정보 분야와의 융합

1. 건설 분야 3차원 고정밀지도 활용 현황

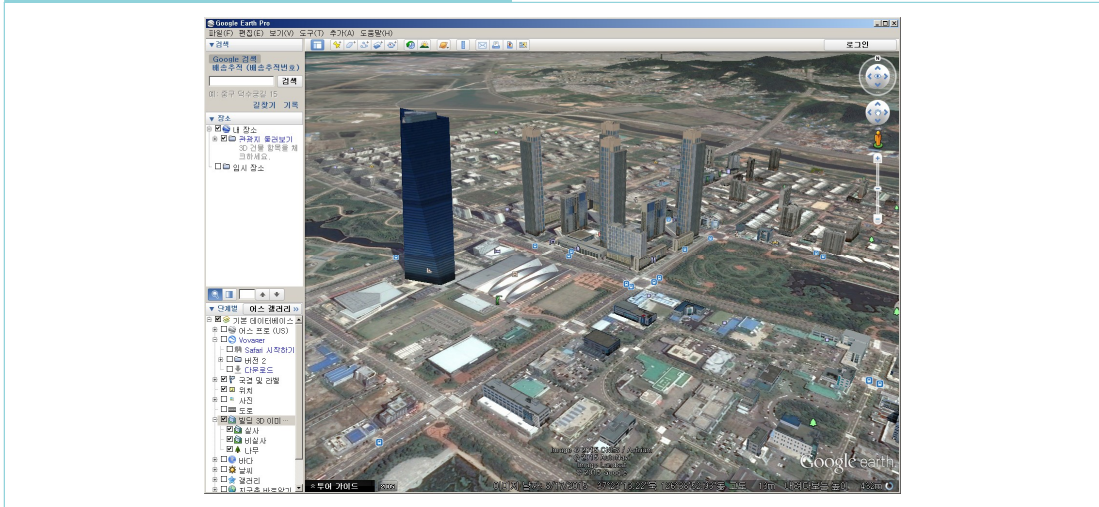
3차원 고정밀지도 서비스 현황을 살펴보면 2005년도에 미국 Google사의 Google Earth가 출시되면서, 3차원 공간정보에 대한 활용 주체가 전문가에서 일반 사용자에게로 확대되기 시작하였다.

2004년에 미국 항공우주국(NASA)의 World Winds, 2006년에 Microsoft사의 Virtual Earth 3D(이후 Bing Maps로 변경) 등이 출시되면서, 지도는 단순한 위치정보의 표현이 아닌 위치가 부여된 여러 정보를 수용하고 분석할 수 있는 플랫폼으로 확장되었다.

이러한 글로벌 거대 기업들의 3차원 공간정보에 대한 투자는 기존 2차원 지도서비스를 3차원 공간으로 확장할 뿐만 아니라 모바일의 출현과도 밀접한 관련이 있다.

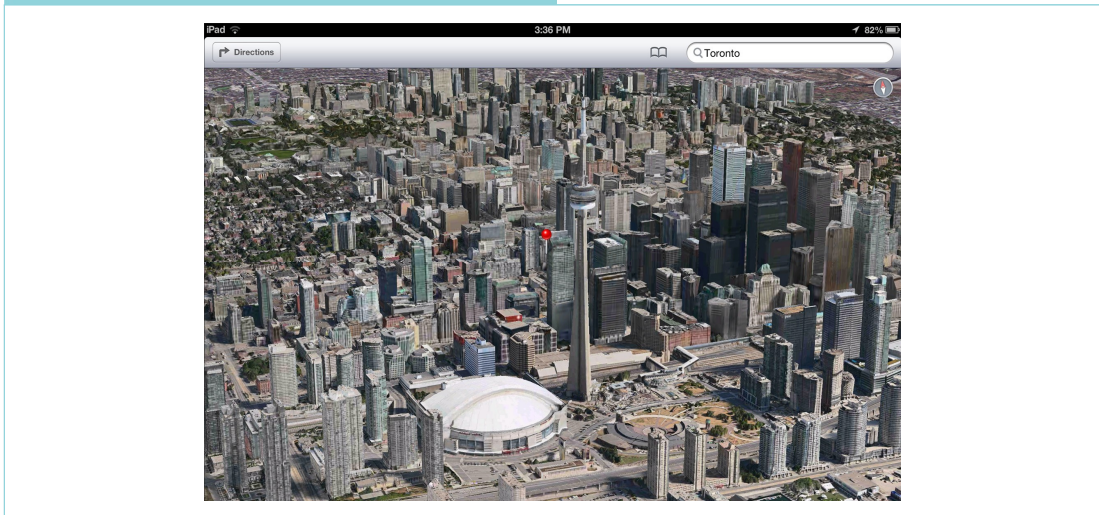
PC와 인터넷을 기반으로 한 웹 환경에서 단순히 정보를 검색하고 취득하는 방식에서 스마트폰과 같은 모바일 사용 방식으로 이동하면서, 단말기에 장착된 GPS 등의 측위센서를 활용하여 사용자의 위치를 파악하고, 이를 기반으로 주변의 위치정보를 활용한 위치기반서비스(LBS, Location Based Services)가 가능해졌다. 이러한 환경변화에 대응해 미국 Amazon사는 UpNext사를 2012년에 인수하였고, 미국 Apple사는 3차원지도 서비스인 Apple Maps(Flyover)를 2012년 말에 출시하면서 3D 고정밀지도의 모바일 경쟁을 가속화하였다.

그림 24. Google Earth의 3차원 건물



* 출처: Google Earth

그림 25. 미국 Apple사의 3D 지도서비스



* 출처 : 9to5mac 사이트

버추얼 싱가포르(Virtual Singapore) 프로젝트는 2014년부터 2018년까지 5년간 약 7300만 달러가 투자되어 완성되었다. 시민들의 삶을 개선하고 일자리를 창출하며 새로운 산업에 진출할 수 있는 기회를 제공하는 지식기반경제를 목표로 하였다.

다쏘시스템(Dassault Systems)과 싱가포르 국립연구재단은 버추얼 싱가포르 프로젝트를 통해 도시의 특성을 살린 실제적이고 통합적인 3차원 모델을 구현하고, 사용자 기반 도시설계 플랫폼인 3D익스피리언 시티를 기반으로 싱가포르의 동적 3D 디지털 모델을 생성하며, 모든 이해관계자들이 협업할 수 있는 안전하고 통제된 환경을 제공하고 있다. 버추얼 싱가포르 프로젝트의 모든 데이터는 다양한 공공기관으로부터 수집되는 인구 통계, 이동 및 기후 등의 실시간 데이터뿐만 아니라, 정밀한 토지 측량을 위해 기하학, 지리정보, 위상 기하학 등의 전문 데이터를 포함하고 있다.

버추얼 싱가포르 프로젝트가 제공하는 주요 기능은 4가지이다. 3차원 도시 모델을 이용해 통신네트워크(3G·4G) 커버리지를 시각화하거나 도시계획을 지원하는 등 가상 실험실의 기능, 새로운 서비스를 위한 테스트베드 기능, 도시 및 교통계획을 위한 의사결정지원 기능, 연구자들을 위한 연구개발 환경지원 기능이 그것이다. 그러나 버추얼 싱가포르는 특정 기업(Dassault Systems)의 기술에 종속된 나머지 데이터 갱신과 커스터마이징 등에 요구되는 비용 문제로 어려움을 겪기도 하였다.

중국의 주요 도시를 3차원 형태로 만든 지도가 Edushi라는 사이트에서 서비스되고 있다. Edushi는 E都市(도시)의 중국식 발음으로 현재, 북경, 상하이, 시안, 광저우 등 22개 도시와 주요 지역의 지도를 서비스하고 있다.

그림 26. 버추얼 싱가포르 프로젝트



* 출처 : 싱가포르 연구재단 홈페이지

그림 27. 중국의 3D 공간정보 구축



* 출처 : Edushi 사이트

영국의 버추얼 런던(Virtual London)은 효과적인 전자정부(e-Government) 실현을 위해 런던대학의 공간분석센터에서 추진 중인 프로젝트이다. 관광, 도시계획 및 대국민홍보 등의 콘텐츠 적용과 함께 3차원 예오빌 마을(3D-Yeovil Town)을 구축하고, 웹 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System) 서비스를 통해 지역경제 활성화 및 고 건축물 홍보 등 지역 커뮤니티 홍보 및 관광정보를 제공하고 있다.

〈표 4〉는 3차원 고정밀지도 추진현황 및 구축사례에 대한 것으로 미국, 영국, 일본, 중국의 예를 나타낸 것이다. 미국의 Google Earth, 3D City, Boston Atlas, 영국의 Virtual London, Glasgow Urban Model, 3D London Tube Map Movie, 일본의 3D GIS 도시계획 시스템, 공간정보 온라인 포털 및 중국의 홍수방지 조절 및 수자원 관리정보 시스템이 그 사례이다.

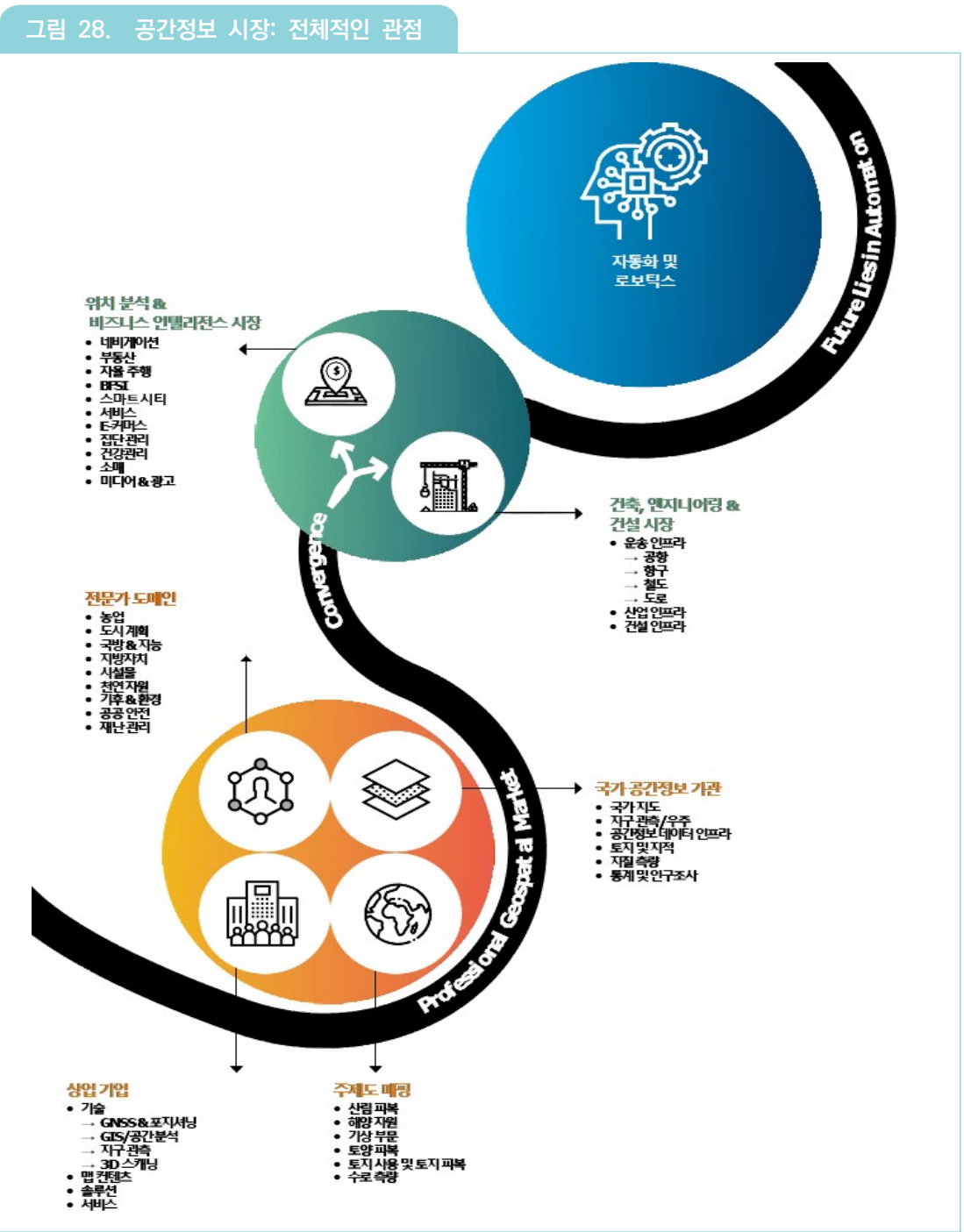
표 4. 3차원 공간정보 추진현황 및 구축사례

국가	추진현황	구축사례
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 도시모델을 이용한 체계적인 도시관리 등 다양한 분야에 활용 • 글로벌 비즈니스 모델 창출 지원 등 투자 강화로 세계시장 주도 • 구글은 전 세계적으로 구글 어스를 통해 3차원 공간정보를 서비스 중 	<ul style="list-style-type: none"> • Google Earth • Virtual LA의 3D City • Boston Atlas
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 전국도의 60% 면적에 대한 3차원 정밀지도 구축 • 민간협업체 운영을 통해 활용 서비스 제공 • 아바타를 이용한 가상현실 구현 • 3차원 건물모델링 서비스 • 3차원 대기오염지도 제작 • 3차원 런던 지하철 지도제작 등에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • Virtual London • Glasgow Urban Model • 3D London Tube Map Movie
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 재난 및 방재분야 긴급 위기관리 시스템으로 3차원 공간정보 적극 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D GIS 도시계획 시스템 • 공간정보 온라인 포털
중국	<ul style="list-style-type: none"> • Digital City 지리공간 플랫폼 건설 프로젝트 추진 • 2015년까지 286개 도시의 3차원 모델 제작 	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수방지 조절 및 수자원 관리정보 시스템

* 출처 : 국토교통부(2015)

2. 건설 및 공간정보와의 융합

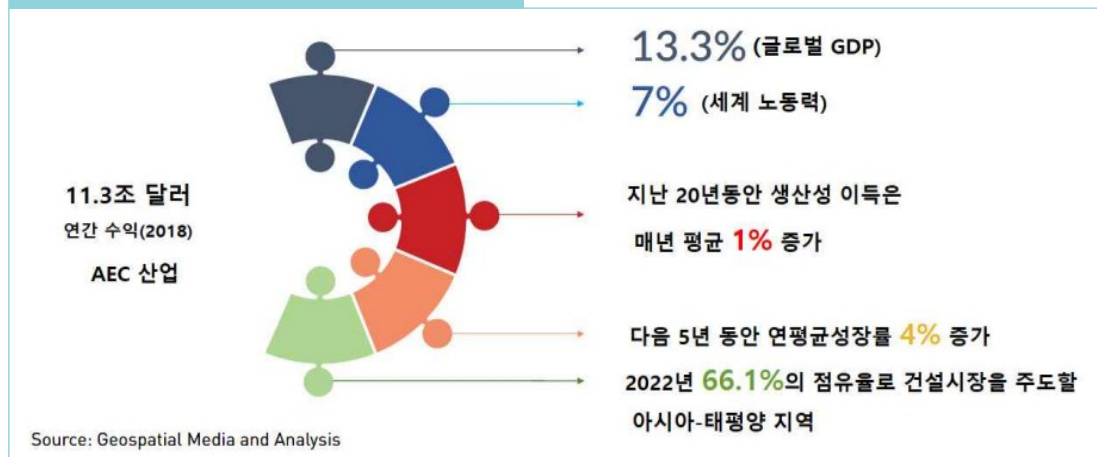
지오비즈 보고서(2019)에 따르면 전체적인 관점에서 공간정보 시장은 <그림28>과 같이 전문적 공간정보 시장, 융합형, 그리고 미래의 자동화로 이를 것으로 보고 있다. 이 중 건축, 엔지니어링 및 건설(AEC, Architecture, Engineering & Construction) 분야는 위치 분석 및 비즈니스 인텔리전스 분야와 함께 융합형에 속한다. AEC 산업은 산업, 건설, 운송 인프라로 구성되며, 운송 부문은 공항, 철도, 항만 및 도로 인프라로 구성된다.



* 출처 : 지오비즈(GEOBUZ) 보고서(2019)

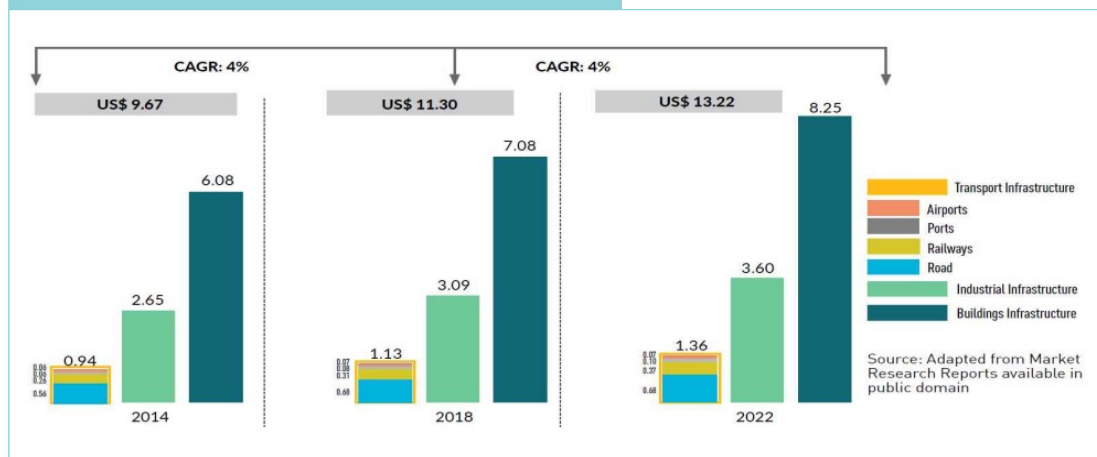
2018년까지의 건축, 엔지니어링 및 건설(AEC, Architecture, Engineering & Construction) 산업의 매출은 <그림 29>와 같이 11조 3,000억 달러로 추정된다. 2022년 연평균 성장률은 <그림 30>과 같이 약 4%가 될 것으로 예상된다.

그림 29. 글로벌 경제에서의 AEC 산업



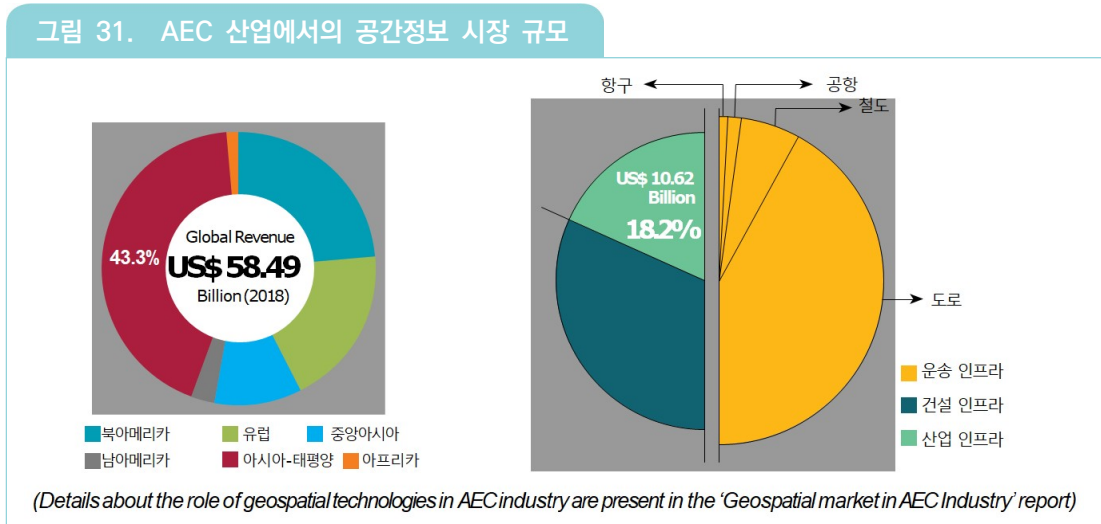
* 출처 : 지오비즈(GEOBUIZ) 보고서(2019)

그림 30. 글로벌 AEC 시장 규모(단위: US\$ 조)



* 출처 : 지오비즈(GEOBUIZ) 보고서(2019)

AEC 산업에서의 공간정보 시장 규모는 <그림 31>과 같이 2018년 기준 584억 9,000만 달러로 세계 AEC 산업의 0.52%에 이를 것으로 추산되고 있다.



* 출처 : 지오비즈(GEOBUZ) 보고서(2019)

가까운 미래에 AEC 산업의 혁신을 이끌어 낼 핵심 기술 중 하나로 공간정보 기술이 손꼽히고 있다. 원격 탐사 및 사진 측량은 시공 전 정확도를 보장하는 토지 측량을 획기적으로 변화시켰다. LiDAR 및 3D 레이저 스캐닝은 건설현장의 실시간 및 지속적인 모니터링을 제공하는 동시에 일정, 비용 및 정확도와 품질을 향상시키고 있으며, 건설 공정에 GPS 장치 배치 시 개선된 장비 추적, 보다 정확한 위치 기반의 현장 조사 제공, 작업자의 효율성 강화로 전반적인 생산성을 높일 수 있다.

V 마무리

3차원 고정밀지도 구축은 지도 제작의 새로운 패러다임으로 전 세계적으로 다수의 구축 및 서비스 사례를 찾을 수 있다. Microsoft사는 2004년부터 Virtual Earth를 통하여 전 세계 주요 도시에 대한 3차원 공간정보를 서비스하고 있으며, 글로벌 기업으로 성장한 Google사 또한 Google Earth를 기반으로 3차원 고정밀지도를 서비스하고 있다.

3차원 고정밀지도는 도시 인프라 전반을 표현하는 프레임 역할을 하고 있으며, 특히 건설 분야에서는 도시 계획과 경관관리, 건축물 관리, 도시 기반시설 관리 등에서 폭넓게 활용되고 있다. 사회 안전망으로써 그 중요도는 시간이 갈수록 더해가고 있으며, 이를 활용하려는 도시 관리 주체들이 지속적으로 증가하고 있는 상태이다.

이러한 고정밀지도의 제작은 다양한 종류의 센서와 이를 탑재할 수 있는 최첨단 플랫폼, 그리고 공간정보 기술에 의해 가능해졌다. 원격탐사, 사진 측량, LiDAR, GPS 등의 공간정보 기술이 건축기술과 융합할 경우 정확도와 품질의 향상 등 혁신을 이끌어 낼 수 있다. 고정밀지도 제작 분야는 고도화된 기술 혁신의 산물로 기술의 융복합이 진전될수록 세밀도와 신뢰도가 향상된 가상현실 세계를 우리에게 제공할 것으로 전망된다.

저자_ 김태훈(Tae Hoon Kim)

• 학력

인천대학교 건설환경공학 박사
부산대학교 토목공학 석사
동아대학교 토목공학 학사

• 경력

現) 공간정보품질관리원 책임연구원

참고문헌

〈국내문헌 : 인용 순〉

- 1) 고종식, 최윤수, 장세진, 이기욱, 2011, “다각촬영카메라의 3차원 위치정확도 분석”, 한국공간정보학회지 제19권 제3호 pp.33-42.
- 2) 국토교통부, 2011, “고정밀 3D 구축 활용기술기반 연구”, 국토교통부.
- 3) 국토교통부, 2015, 2015년 3차원 공간정보 추진방안 연구, 국토교통부.
- 4) 국토지리정보원, 2010, “차량기반 멀티센서 측량시스템 제도개선 연구”, 국토지리정보원.
- 5) 국토지리정보원, 2018, “정밀도로지도 연계 효율화 연구 및 구축 갱신 연구보고서”, 국토교통부 국토지리정보원
- 6) 김도선, 2018, “UAV를 이용한 정밀 DTM구축에 관한 연구”
- 7) 김성준, 민성홍, 이동천, 박진호, 이임평, 2007, “도화원도를 이용한 3차원 건물모델의 자동생성”, 한국지형공간정보학회지 제15권 제2호 pp.3-14.
- 8) 김재명, 2012, “3차원 공간정보의 품질인증에 관한 연구”, 서울시립대학교 박사학위 논문.
- 9) 권세호, 손호웅, 김태훈, 이강원, 2020, 드론 Pix4Dmapper : 3차원 지형정보 획득 및 분석, 구미서관
- 10) 박세환, 2011, 3차원 GIS 및 지도 데이터 기술 동향, 정보통신산업진흥원.
- 11) 유복모, 2001, 사진측량학개론, 사이텍미디어.
- 12) 이정일, 2014, “장비 및 제도 개선을 통한 3차원 공간정보의 품질 향상 방안”, 인천대학교 박사학위 논문.
- 13) 이현직, 유지호, 김상연, 2010, “수치사진측량 기법을 이용한 3차원 공간정보의 품질 분석”, 한국지형공간정보학회지 제18권 제4호 pp.141-149.
- 14) 조규전, 2005, Geoinformation Photogrammetry RS & GIS, 양서각.
- 15) 조정관, 2011, “3차원지리적 건물모형 구축을 위한 공간자료 융합 연구”, 목포대학교 박사학위 논문.
- 16) 지오비즈, (2019). 공간정보산업 전망 및 준비지수(Geospatial Industry Outlook & Readiness Index, 2019 Edition), 공간정보산업협회 번역, 지오비즈.

〈국외문헌 : 인용 순〉

- 17) Brenner, C., Haala, N. and Fritsch, D., 2001, “Towards fully automated 3D city model generation”, Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images III.
- 18) Christian, F., Russell, S. and Avideh, Z., 2004, “Automated texture mapping of 3D city models with oblique aerial imagery” 3dpvt, pp. 396-403.
- 19) Frere, D., Vandekerckhove, J., Moons, T. and VanGool, L. 1998. “Automatic modelling and 3D reconstruction of urban build-ings from aerial imagery” IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, Seattle, pp. 2593-2596.

- 20) Frueh, C. and Zakhor, A., 2002, "Data processing algorithms for generating textured 3D building façade meshes from laser scans and camera images", Proc. 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Padua, Italy, June, pp. 834 – 847.
- 21) Geospatial Media and Communications Pvt. Ltd., 2019, GEOBUIZ 2019
- 22) Gordon, P., 2010, "An introduction to the technology mobile mapping systems" GEOinformatics January/February, pp. 32-43.
- 23) Lidikok, S. and George. V., 2004, "Reconstruction of 3D build models from aerial images and maps" ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.58, pp. 202-224.

〈기타문헌 : 홈페이지 등〉

- 24) 네이버캐스트, 2014 <http://navercast.naver.com/>
- 25) 싱가포르연구재단(National Research Foundation Singapore) 홈페이지. <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- 26) 양선진, 2010, "안드로이드 IP 카메라 뷰어 설계 및 구현", <https://sunjinyang.files.wordpress.com/2010/09/android-ip-camera-viewer-20100616.pdf>
- 27) (주)지오시스템 홈페이지. <https://geosys.co.kr/>
- 28) Edushi, <http://edushi.com/>
- 29) Geosystems 사이트. <https://geosys.co.kr/>
- 30) KOREC Group 홈페이지. <https://www.korecgroup.com/>
- 31) PILOTSHOP 홈페이지. <https://www.pilotshop.com/>
- 32) PRIMIS 홈페이지. <http://www.primis.cz/index.php/en/>
- 33) SONY 홈페이지. <https://www.sony.net/>
- 34) Vexcel 홈페이지. <https://www.vexcel-imaging.com/>
- 35) WALTER. V., 2007, Quality Control of 3D Geospatial Data, <https://phowo.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/360Walter.pdf>
- 36) 9to5Mac 사이트. <http://9to5mac.com>

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 October vol.7 no.10

이 보고서는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임

(No. NRF-2012M3C1A1050726)